

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias (12 EAP)

Vigala-Matsalu viirsavibasseini varvokronoloogiast

Anu Sihv

Juhendaja: PhD Tiit Hang

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2017

Vigala-Matsalu viirsavibasseini varvokronoloogiast

Käesoleva töö ülesandeks oli varasemalt TÜ geoloogia osakonnas puuritud Vigala-Matsalu basseini viirsaviläbilõigete varvomeetriline uuring eesmärgiga täiendada seni vähestele läbilõigetele toetuvat Vigala kohalikku varvokronoloogiat. Uurimuses kasutati 12 viirsavi läbilõiget Matsalu lahest ja selle ümbrusest ning Vana-Vigala ümbrusest. Iga läbilõike varvide paksused mõõdeti, eristades seejuures suve- ja talvekihte ning kirjeldati varvisesiseid tekstuure ja lõimist. Vahetul setteläbilõigete kõrvutamisel leiti korreleeruvad varviseeriad, mida hiljem kasutati varvogrammide korreleerimisel ja kohalike varvokronoloogiate koostamisel. Uuritud läbilõigete omavaheline korrelatsioon õnnestus hästi. Raskused ilmnesisid korrelatsioonil varem uuritud läbilõigetega, mille põhjuseks oli uuritud läbilõigete lühike (160 a) ajaline kestvus ning ainult väga varieeruva paksusega proksimaalsete varvide esinemine. Uuritud Matsalu ümbruse läbilõikeid varasema Vigala andmestikuga usaldusväärselt korreleerida ei õnnestunud. Uued Vigala ümbruse andmed korreleeriti varasema andmestikuga, kuid nende lühike ajaline kattuvus oluliselt Vigala kohalikku kronoloogiat ei täienda. Tulemustes antakse olulised meetoodilised soovitusel ja hinnang Vigala-Matsalu viirsavide varvokronoloogilise uuringu potentsiaalile.

Märksõnad: viirsavi, varvokronoloogia, Matsalu laht, Vigala

CERCS kood: P510 – Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Clay-varve chronology for the Vigala-Matsalu area

The aim of this study was to analyse varved clay sections from Vigala-Matsalu clay basin in western Estonia in order to complement existing local varve chronology which since relies only on few sections. 12 new sections, which were used in this research, were earlier obtained at the department of geology, UT from the Matsalu Bay and its surroundings and from Vana-Vigala area. Considering seasonal layer thicknesses the total varve thicknesses were measured on each section and also intra-varve textures, grain-size and colour changes were described. Through the direct comparison of sediment sections in the lab, the correlating varve series were found and were thereafter used in correlation of varve graphs and compilation of local varve chronologies. Correlation between examined sections succeeded well. Difficulties appeared

when new sections were correlated with the varve graphs from earlier studies. It is because the studied sections were relatively short in time (160 yr) with the presence of only proximal varve series with highly variable varve thicknesses which made the correlation uncertain. As a result, the examined sections from Matsalu were not reliably correlated with data from Vigala. New data from the surroundings of Vigala were correlated with previous data but their short time coverage does not notably complement the earlier local varve chronology for Vigala. Results of the study include an important methodological recommendations and evaluation of potential for further varve chronological studies in Vigala-Matsalu area.

Key words: glaciolacustrine varved clay, varve chronology, Matsalu Bay, Vigala

CERCS: P510 – Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

Sisukord

Sissejuhatus	5
1. Viirsavi ja varasemad varvokronoloogilised uuringud	7
1.1 Võimalikud probleemid varvide mõõdistamisel ja korreleerimisel	9
1.2 Rootsi ajaskaala	11
1.3 Soome ajaskaala	13
1.4 Varvokronoloogilised uuringud Loode-Venemaal	13
1.5 Varvokronoloogilised uuringud Eestis	15
2. Viirsavide levik ja iseloom Eestis	19
2.1 Jääpaisjärved.....	20
2.2 Uuringuala geoloogia	21
3. Materjal ja metoodika	24
4. Tulemused	26
5. Arutelu.....	36
Kokkuvõtte ja peamised tulemused.....	45
Summary.....	47
Tänuavaldused.....	49
Kasutatud kirjandus	50

Sissejuhatus

Lääne-Eesti geoloogilist ehitust on oluliselt mõjutanud viimase Skandinaavia liustiku tegevus ja Läänemere areng. Viimase Weichseli mandriliustiku esistes jääpaisjärvedes settinud viirsavid moodustavad olulise osa Eesti pinnakattest. Eriti soodus oli jääpaisjärvede tekkeks Lääne-Eesti madalik, kus lauge ja tasane aluspind, Balti jääpaisjärve püsivalt kõrge veetase ning liustiku ühtlane taganemine löid soodsad tingimused viirsavide pikaajaliseks settimiseks. Sellel alal laiuvad tänapäeval Eesti ulatuslikumad viirsavibasseinid.

Viirsavi on iseloomuliku sesoonse kihilisusega jääjärve sete. Aastas moodustub kaks erineva paksuse, koostise ja värvusega kihti, mida koos nimetatakse „varviks“ või „aastavarviks“. Levinud seisukohaks on, et varvipaksuste muutus läbilõigetel on seotud ühelt poolt settimisaegsete kliimaatiliste tingimustega ja teisalt läbilõike asukohaga settimisbasseinis. Seega on varvipaksuste muutus ja varvisisene tekstuur koos lõimisega heaks ja ajaliselt väga suure täpsusega settimiskeskkonna indikaatoriks. Lisaks on varvipaksuste muutust võimalik kasutada üksteisest eemal paiknevate läbilõigete korrelatsiooniks ja sealt jääjärvede eksisteerimise ja liustikutaande aja määramiseks, millega tegeleb varvokronoloogia.

Varvokronoloogilisele meetodile pani 19. sajandi lõpus aluse Rootsi geoloog, hilisem Tartu Ülikooli audoktor Gerard De Geer. Varvokronoloogiat, kui uurimismeetodit, ongi enim kasutatud Skandinaavias, kus on loodud viirsavidel põhinev ajaskaala, nn Rootsi Ajaskaala, mis käesoleval ajal katab ligikaudu 14 000 aasta pikkust ajalõiku. Lisaks on põhjalikke viirsavidel põhinevaid varvokronoloogiaid koostatud Põhja-Ameerikas, Soomes ja Loode-Venemaal. Eestis on enim uuritud Peipsi järve ja Lääne-Eesti viirsavisid. Arvestatavad kronoloogiad on koostatud Peipsi (Hang, 2001) ja Pärnu (Hang & Kohv, 2013) viirsavibasseinide kohta.

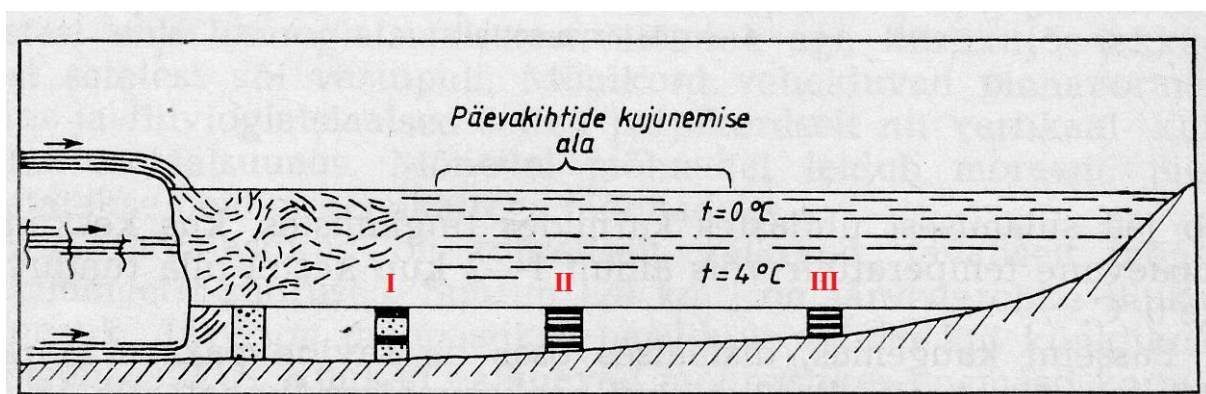
Ulatusliku Vigala-Matsalu viirsavibasseini senised varvokronoloogilised uuringud on andnud paremaid tulemusi Vana-Vigalas ja Tõnumaa rabas, kus siiski vaid viiele korreleeritud läbilõikele toetuv kronoloogia katab 530 aastase ajalõigu. Kuna TÜ geoloogia osakonnas oli hoiul viimastel aastatel Vigala-Matsalu basseinis, osaliselt õppetöö käigus, puuritud viirsaviläbilõiked ning varasem varvomeetriline andmestik varvogrammide näol, siis seati käesoleva töö ülesandeks nimetatud andmestiku läbi töötamine eesmärgiga täiendada seni vähestele läbilõigetele toetuvat Vigala-Matsalu kohalikku varvokronoloogiat. Uurimuse jaoks kasutati 2012.-2014. aastal puuritud 12 läbilõiget, mis pärinevad Matsalu lahest ja selle ümbrusest ning Vigalast. Autor puurimisel ei osalenud, kuid mõõtis, kõrvutas ja kirjeldas läbilõiked laboris, koostas varvogrammid ja võimalikud korrelatsioonid. Lisaks annab töö

referatiivne osa ülevaate varasematest varvokronoloogilistest uuringutest Põhjamaades ja Eestis.

1. Viirsavi ja varasemad varvokronoloogilised uuringud

Viirsavi on viirkihiline sete, mis koosneb tavaliselt heledama tooniga liivakas-aleuriitset ja tumedast savikihist. See on kõige iseloomulikum liustikuserva esiste ehk proglatsiaalsete jääjärvede sete (Raukas, 1995). Kihilisus tekib liustiku ees olevas suhteliselt sügavas jääpaisjärves, sõltudes kliimast ja aastaegadest. Kevadel ja suvel, kui liustik sulab, vabaneb järve erineva terasuurusega materjali. Jämedamaterjaline liiv ja aleuriit settivad põhja kiiremini kui peenemad saviosakesed, moodustades „suvekihi“. Sügisel ja talvel, kui ilm muutub jahedamaks, liustiku sulamine peatub ja järv kattub jääga, hakkab settima peeneteraline savi, mis moodustab „talvekihi“. Suve- ja talvekiht moodustavad ühe aasta kihi ehk „varvi“ või „aastavarvi“. Mõiste „hvarf“ tähendab vanas rootsi keeles täispööret, ringi või tsükli. Inglise keelde jõudis sõna „varve“ Rootsi geoloog Gerard De Geer'i kaudu (De Geer, 1912, cit. Brunnberg, 1995). Kui veel mõni aeg tagasi kasutati mõistet varv vaid jääjärveliste viirsavide kirjeldamisel, siis nüüdseks on mõiste laiemalt kasutusel ka näiteks Holotseensete viirkihiliste järvesetete või ka aastakihiliste meresetete puhul.

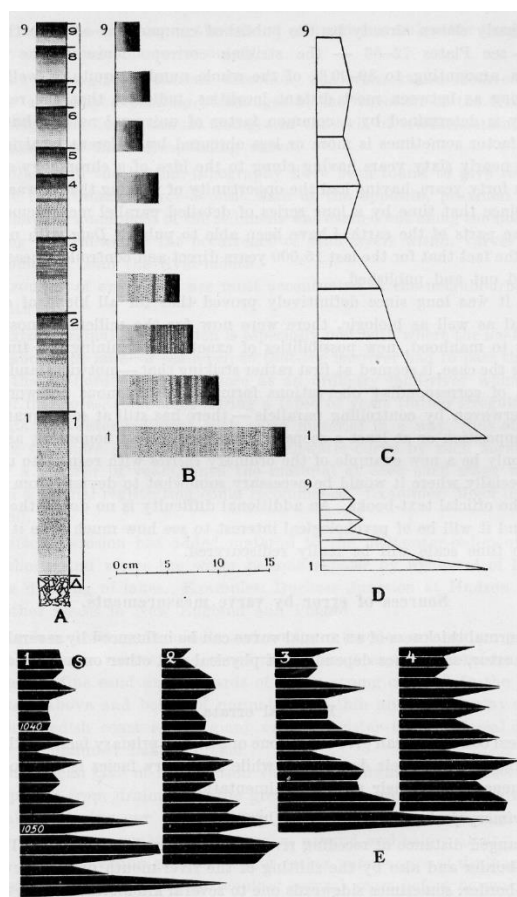
Jääpaisjärve võib jagada tinglikult kolmeks osaks: liustikuservalähedane ehk proksimaalne osa, liustikuservast kaugemal olev ehk distaalne osa ning nende vaheline basseini keskmine osa (Joonis 1). Kõige paksemad varvid moodustuvad basseini proksimaalses osas, kuhu sulaveega satub kõige rohkem settematerjali (Pirrus, 1965, cit. Raukas, 1995). Seal settib ka kõige enam jämedateralist setet. Suvekihid on liustikuservaeosis osas alati paksemad kui talvekihid ja samuti paksemad kui basseini keskosa või distaalse osa suvekihid. Suvekihi vahe talvekihiga võib olla 10-20 kordne (Pirrus, 1965, cit. Raukas, 1995).



Joonis 1. Viirsavid kujunevad sügavaveelises veekogus sesoonsete settimistingimuste erinevuse tõttu. I – proksimaalsed varvid kujunevad liustikuserva lähedal; II – nn. normaalsed varvid basseini keskosas ning III – distaalsed varvid basseini äärealal (Saarse & Pirrus, 1988).

Basseini keskmise osa kihid ehk normaalsed varvid on kõige ühtlasemad ja korrapärasemad. Keskosa kaugus sõltub basseini suurusest, umbes 1-6 km liustikuservast (Raukas, 1988). Keskosa varvide sees võib esineda ka väga peenikesi kihte ehk lamelle. Need võivad olla ühe päeva jooksul tekkinud kihid ehk päevakihid, mida Eestis leidub vähem. Päevakihid tekivad suurema ööpäevase temperatuuri kõikumisel, kui lühikese aja jooksul on mandrijääst suur hulk materjali välja sulanud. Päevakihid on tavaliselt mõne millimeetri paksused (Pirrus, 1965, cit. Raukas, 1995).

Kõige õhemad viirsavi kihid esinevad jääpaisjärve distaalses osas, sest sinna kandub pika vahemaa tõttu kõige vähem materjali. Viirsavide paksus jääpaisjärve distaalses osas on enamasti alla 2 meetri (Pirrus, 1965, cit. Raukas, 1995). Distaalses osas ei pruugi korralikku viirsavi esineda, kuna osad suve- või talvekihid pole materjali puuduse pärast saanud settida.



Joonis 2. De Geer'i esitatud varvogrammi koostamise põhimõte. A - üheksat aastavarvi sisaldav viirsaviläbilõige, mis ulatub lamava moreenini; B, C - demonstreerivad varvogrammi koostamise põhimõtet; D - juba esimestest varvogrammidest alates on nende esitamiseks ja paremaks visuaalseks võrdluseks graafiku mõõtkava muudetud väiksemaks; E - esimene varvogrammide korrelatsioon, kus järjest hilisem diagrammi algus tähistab ühtlasi jääserva taandumist konkreetses piirkonnas (De Geer, 1940).

Varvid tekivad üldjuhul igal aastal, seetõttu on neid hea kasutada dateerimiseks. Esimese visuaalse kujutise mõõtmistulemustest esitas De Geer varvipaksuste diagrammide ehk varvogrammidenä (Joonis 2). Tema varvogrammidel oli esitatud aastad vertikaalteljel ja varvipaksused horisontaalteljel. Tänapäeval paigutatakse teljed vastupidi, kusjuures varvide vanus ehk aastate järjestus esitatakse traditsiooniliselt paremalt vasakule.

1.1 Võimalikud probleemid varvide mõõdistamisel ja korreleerimisel

Varvide mõõtmisel ja korreleerimisel esineb sageli mitmeid probleeme. Ilm on aastati erinev ning see põhjustab erinevaid settimistingimusi kihiliste setete kujunemiseks. Külmemal aastal on liustiku sulamine aeglasem, liustikuesisesse veekogusse vabaneb vähem setteid ja suvel on settimine aeglasem. Seetõttu võivad suvekihid või isegi aastavarvid puududa või olla märkamiseks liiga peenikesed. Lisaks võib varvide puudumine olla tingitud kohatisest erosioonist, mida võib põhjustada liustikust saabuv jahedam ja setetega küllastunud tihedam veemass põhja läheda. Vastupidiselt kihtide puudumisele võib neid esineda ühes aastas ka mitu. Lisa- ehk alamkihid esinevad peamiselt jämedateralistes ehk suvekihtides. Need kajastavad päevaseid muutusi: jämedam materjal sadestub päeval ja peenem öösel (Ringberg, 1984, cit. Lowe & Walker, 1997) või ka üksikud sündmusi näiteks võib tormilainetusega kanduda setteid ka veekogu rannikupiirkonnast või toimuda äkilisi sissevoolejääsiseste paisude tagant.

Lisaks võib liiv settida ka talvel muda ja savi sisse hoovuste tõttu (Shaw & Archer, 1978, cit. Lowe & Walker, 1997). Tuuletekkelised või temperatuurierinevustest põhjustatud hoovused võivad põhjustada korrapäratut settimist liustikuserva esises piirkonnas ning sedasi tekitada probleeme varvide kujunemisel ning hilisemal tõlgendamisel, mis on sagedane probleem just aeglase settimise korral (Catto, 1987, cit. Lowe & Walker, 1997). Sarnaselt võivad probleemid ilmnedä ka veealuste lihete tõttu. Veelises keskkonnas settinud peeneteraline materjal võib kallakpindadel, näiteks alusreljeefi ebatasasuste tõttu, libisema hakata väga väikese nõlvakalde juures. See omakorda võib põhjustada sette kihilise tekstuuri muutumist (segunemist), varvide paindumist või terve seeria varvide nihkumist teise kohta. Siiski on sellised rikked kihilistes setetes ka visuaalselt jälgitavad, küll aga ei ole sellised setted kasutatavad varvokronoloogilisteks uuringuteks.



Joonis 3. G. De Geer 1940. aastal Põhja-Ameerikas, kus ta tegi sealsed esimesed varvokronoloogilised uuringud.

Varvide korreleerimiseks peavad andmed olema täpsed ning selle tagamiseks on kõige parem, kui uuritavast kohast on võetud mitu läbilõiget. Selle abil saab kindlamini määrata nähtavaid ja puuduvaid kihte ning välistada või minimeerida võimalikke probleeme. Kõige kindlamad korreleerimise tulemused saab piiratud ala läbilõigete põhjal. Mida kaugemal läbilõiked üksteisest asuvad, seda rohkem nad erineda võivad, kuna kliimaatilised muutused mõjutavad varvide kujunemist ka üksteisele lähedal asuvates piirkondades. Suure vahemaaga alade varvide korrelatsioone on varasemalt tehtud, kuid nende paika panemisel on esinenud mitmeid probleeme (Lowe & Walker, 1997). Varvokronoloogia ajaloost on siin näiteks tuua meetodi enda rajaja poolt katsetatud nn „telekonneksioonid“ (teleconnections) (De Geer, 1940). Nimelt muutus De Geer pärast Põhja-Ameerika külastamist (Joonis 3) väga optimistlikuks ja arvas, et kliimast põhjustatud liustike sulamine annab üheaegset sarnast signaali varvide kujunemisse nii Põhja-Ameerikas kui Skandinaavias, veelgi enam, ta tegi katsetusi varviseeriade korrelatsiooniks isegi Skandinaavia ja Lõuna-Ameerika viirsavide vahel. Loomulikult leidis selline lähenemine õigustatud kriitikat kogu maailmas ja mis seal salata, see halvas varvokronoloogia arengut ja prestiiži väga oluliselt ja pikaks ajaks. Nii ka Rootsis algasid pärast De Geer'i varvokronoloogilised uuringud uuesti alles möödunud sajandi 70-ndatel aastatel.

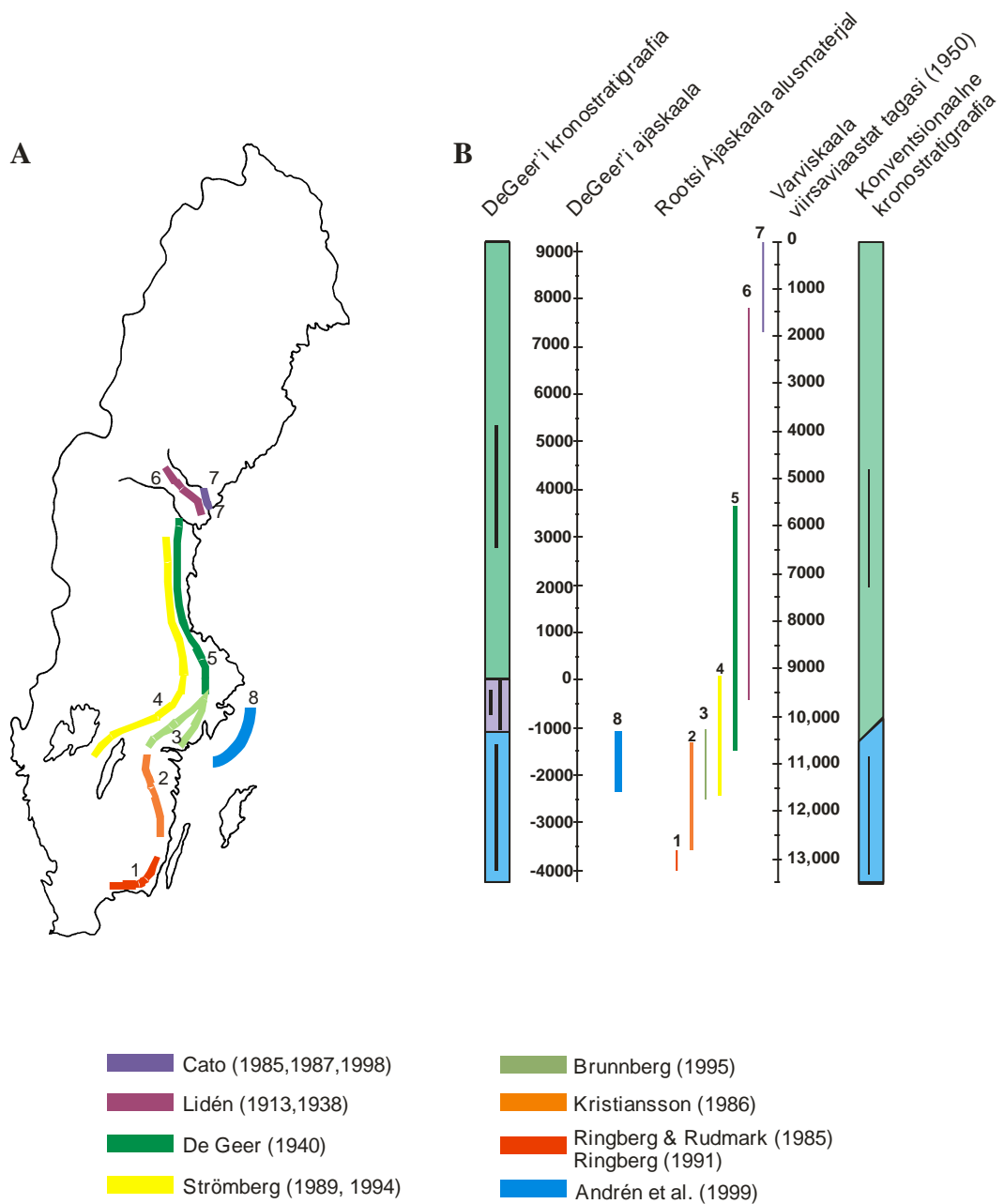
1.2 Rootsi ajaskaala

Gerard De Geer (1858-1943), Rootsi geoloog ja poliitik, kirjeldas juba 1884. aastal Stockholmis kaevamistel kihelist setet, mis koosnes heledate ja tumedate kihtide vaheldumisest. Ta täheldas üsna pea märkimisväärset sarnasust nende settekihtide ja puude aastarõngaste vahel ja järeldas sealt, et varvid on tekkinud ühe astronoomilise aasta jooksul. 1904. aastal mõõtis ta mitut uut läbilõiget ja täheldas varvipaksuste sarnast muutlikkust üksteisest mitme kilomeetri kaugusel paiknevates läbilõigetes (Mörner, 2014). See tõdemus andis talle kindlust, et varvid kajastavad ühte aastat, mille järel hakkas ta juba koostama pikemat ajaskaalat.

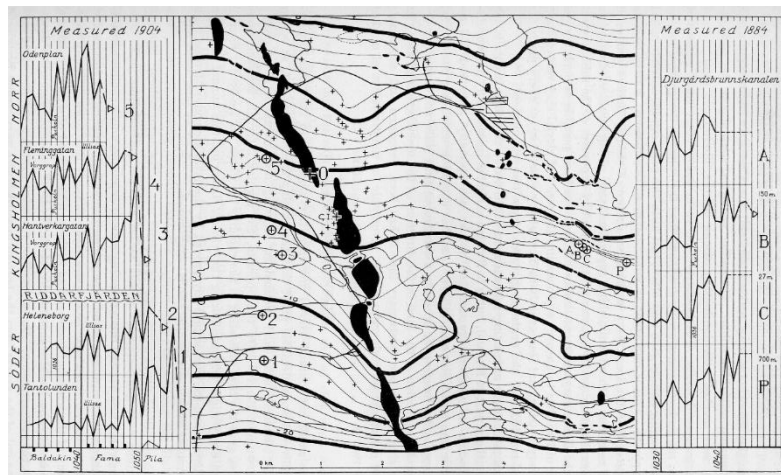
Ta mõõtis koos tudengitega Rootsi erinevate piirkondade viirsavide varve, alustades esialgu Stockholmist ja liikudes põhja poole (Mörner, 2014), hiljem aga koostas ta juba kogu Rootsi haarava varvokronoloogia, mida on hakatud nimetama Rootsi Ajaskaalaks (Joonis 4) (Lowe & Walker, 1997). 1910. aastal Rahvusvahelisel Geoloogia Kongressil esitas ta esmaseid tulemusi (Joonis 4) (De Geer, 1912, cit. Mörner, 2014), mida ta esitles varvipaksuse diagrammide ehk varvogrammidenä (Joonis 5).

De Geer määras enda ajaskaala nullpunktiks varvi, millest vanemad varvid olid negatiivse väärtusega ning nooremad positiivsega. Nullpunkti läbilõige oli pärit Põhja-Rootsi keskosas paikneva Indalsälveni orust. Ta valis selle läbilõike, sest arvas seda pärinevat ajast, mil tekkis järsult suures koguses sulavett ning peale mida murdus Skandinaaviat kattev mandriliustik kaheks (Lowe & Walker, 1997).

Uute uurimuste ja andmetega on De Geeri kronoloogiat hiljem palju kordi muudetud (Lowe & Walker, 1997). Mitmed uurijad on täpsustanud Rootsi Ajaskaala nullpunkti. Tänapäevani on kasutussejäänud Cato määratud nullvarv (Cato, 1985, cit. Bard & Broecker, 1992), mis tähistab 9238 aastat tagasi ning seob Rootsi Ajaskaala nn kalendriaastatega (Strömberg, 1985, cit. Lowe & Walker, 1997). Lisaks on ajaskaalat hilisemalt mitmete tööde käigus täpsustatud ja ka pikendatud ning see hõlmab tänaseks umbes 14 000 a (Wohlfarth & Possnert, 2000, cit. Hang & Kohv, 2013).



Joonis 4. Olulisemate kronoloogiate geograafilise (A) ja kronoloogilise (B) paiknemine erinevate ajaskaalade taustal, millele Rootsi Ajaskaala toetub. 1 – Ringberg & Rudmark (1985), Ringberg (1991); 2 – Kristiansson (1986); 3 – Brunnberg (1995); 4 – Strömberg (1989; 1994); 5 – De Geer (1940); 6 – Lidén (1913; 1938); 7 – Cato (1985; 1987; 1998); Andrén jt. (1999). Andrén jt. (1999) andmetel.



Joonis 5. De Geeri esimesed katsetused, kus viirsaviläbilõigete ja varv varvile korrelatsioonide abil on ta taastanud liustikuserva taandumist (mustad jooned), tumedad laigud tähistavad Stockholmi oosi paiknemist (De Geer, 1940).

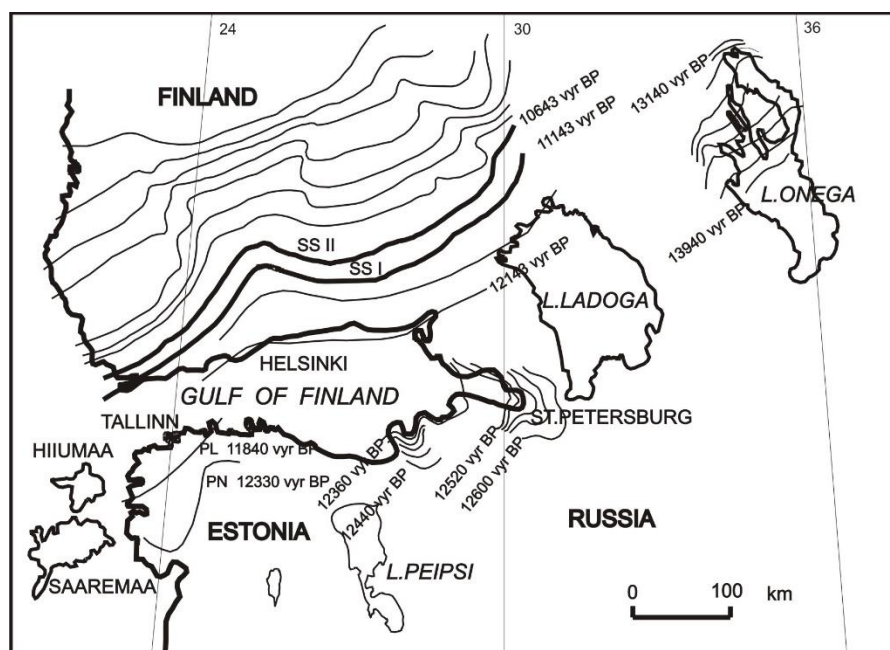
1.3 Soome ajaskaala

Matti Sauramo (1889-1958), innustatuna De Geer'i töödest, koostas esimese osa Soome varvokronoloogiast 1918. aastal (Sauramo, 1918). Selle põhjal võib väita, et Soome lõunaosa, rannikust kuni Salpausselkä II servamoodustiste vööndini, vabanes jää alt 1500 aasta jooksul. Soome varvokronoloogia noorem osa katab 700 aastat ja iseloomustab Salpausselkä servamoodustiste vööndist põhjapool toimunud jää taandumist (Joonis 6). Mõlemad hilisjääaja varvokronoloogiad hõlmasid seega kokku 2800 aastat (Sauramo, 1929), kuid kokkuvõttes olid need suhtelised kronoloogiad ehk ei olnud ühendatud ajaskaalaga. Lihtsaimaks viisiks seda ajaskaalaga ühendada pidasid De Geer ja Sauramo Soome skaala korrelatsiooni Rootsi Ajaskaalaga. Esmase seostamise Rootsi Ajaskaalaga pakkus välja De Geer (Sauramo, 1918), mille alusel vastas Soome kronoloogia nullvarv Rootsi -1405 varvile. Hiljem on uurijad teinud ka juba otseseid korrelatsioone Rootsi ja Soome viirsavidest ja Strömbergi (1990) korrelatsiooni alusel vastab Soome kronoloogia nullvarvile Rootsi Ajaskaala 10 643 aastavarv ehk 8693 aastat eKr (Björck, *et al.*, 1992; Strömberg, 1990).

1.4 Varvokronoloogilised uuringud Loode-Venemaal

Lisaks Soome varvokronoloogiale esitas Sauramo (1925a) ka Loode-Venemaa esimese kronoloogia Karjala maakitsusel. Selle sidumisel ajaskaalaga oli Sauramo tihedas ühenduses De Geeriga, kelle seisukohad sealse jäätaande ajalise toimumise kohta saidki määravaks ja millega saab tutvuda Stockholmi Ülikooli Geokronoloogia muuseumis. Vene geoloogid

Markov ja Krasnov jätkasid varvokronoloogilisi uuringuid Peterburi ümbruses ja Luga madalikul (Joonis 6). Nemat uurisid Peterburi ümbruses 58 koha viirsavisid, nendest 27 kasutati kohaliku kronoloogia koostamiseks. Sealsete viirsavide keskmine paksus on 6-8 m ja suurim 15 m (Hang, 1998). Kõikidel läbilõigetel on väga kindlad tunnused, mille põhjal on korreleerimine kerge ning kohalik kronoloogia katab kuni 340 aastat (Markov & Krasnov, 1930). Kuna enamik läbilõigetest ulatus moreenini, siis on autorite poolt välja pakutud ka jäätaande ajaline kulg – kogu bassein vabanes mandrijää alt u 80 aastaga kiirusel 400-450 m/a, mis on märksa suurem jäätaande kiirus kui ümbruskonnas (Hang, 1997) .



Joonis 6. Liustiku taandumise jooned Lõuna-Soomes (Sauramo, 1929) ja Onega põhjaosas ning Neva ja Luga basseinis (Markov & Krasnov, 1930)

Teine suurem viirsavide leiukoht Soome lahe lõunakaldal asub Luga madalikul (Markov & Krasnov, 1930). Kõige paremini on selle piirkonna viirsavid välja arenenud Kingissepast põhja suunas, kus savi paksused on basseini suurimad ulatudes 3-4 m-ni. Läbilõiked eristuvad Neva basseini omadest, sest neis esinevad paksud liivased varvid, mis on ilmselt nn ülevooluvarvid ehk drenaaživarvid (Markov & Krasnov, 1930). Nende tekke põhjuseks arvatakse olevat Luga ja Neva jääjärvede ühinemine. Luga basseini 260 aasta pikkune kronoloogia baseerubki nimetatud drenaaživarvidel mitte varv-varvile korrelatsioonil.

Lisaks teostasid Markov ja Krasnov (1930) varvokronoloogilisi uuringuid ka Onega järve põhjaosas, kus uuritud 30 saviläbilõike (Joonis 6) alusel koostati 800 aasta pikkune

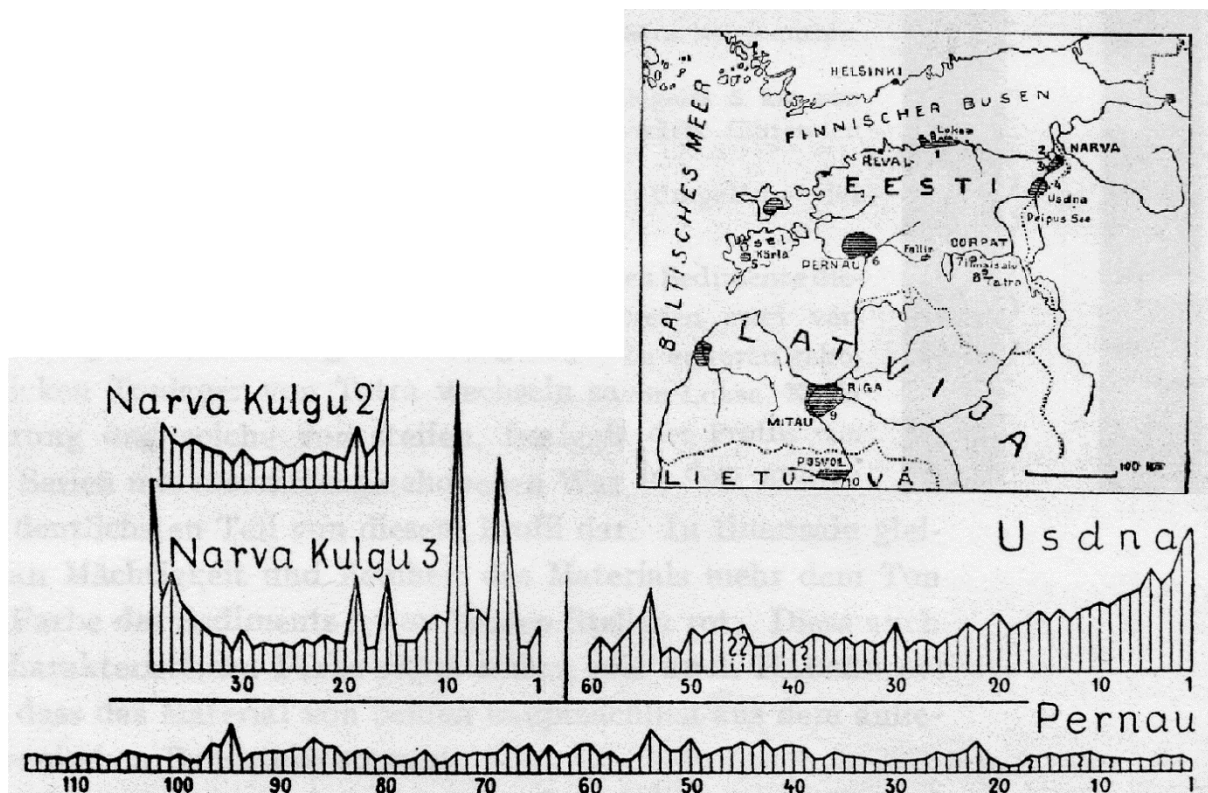
kronoloogia. Kahjuks ei ole see publitseeritud, küll aga arutlesid Markov ja Krasnov (1930) jäätaande kiiruse üle. Toetudes varvipaksustele rõhutasid nad olulist jäätaande aeglustumist järve põhjaranniku lähedal. Otseselt varvokronoloogilisi uuringuid Loode-Venemaal rohkem teostatud ei ole. Hang (1997; 2001) pakub välja Peipsi varvokronoloogia korrelatsiooni Luga ja Neva kronoloogiatega ning tuletab sealt ka seose Soome kronoloogiaga. Need tulemused ühtisid üsna hästi Onega järvest ja Lõuna-Karjalas tehtud viirsavide paleomagnetiliste uuringutega (Saarnisto & Saarinen, 2001). Nende uuringute alusel settisid Onega järve viirsavid u 1200 aasta jooksul vahemikus 14 200 – 13 000 a.t.

1.5 Varvokronoloogilised uuringud Eestis

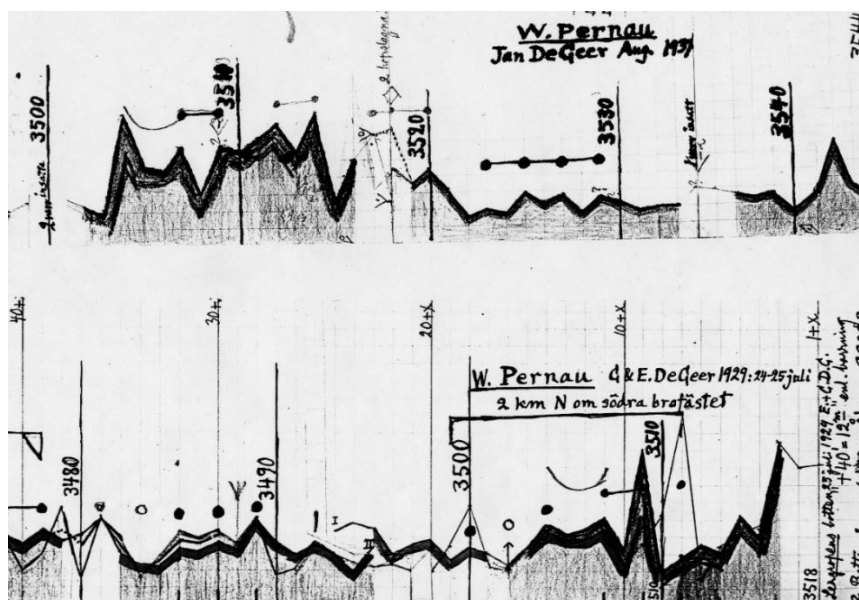
Eestis oli varvokronoloogiliste uuringute algatajaks De Geeri kolleeg Soome geoloog M. Sauramo. 1924. aastal külastas ta Eestit, Lätit ja Leedut. Koostöös Eesti geoloogi ja hilisema akadeemiku Karl Orvikuga mõotis Sauramo mõned läbilõiked Narva lähedalt, Kirde- ja Edela-Eestis ning ka Saaremaal (Sauramo, 1925b) (Joonis 7). Tema nägi Eesti viirsavide piirkondlikke erinevusi.

Esiteks pidas ta sarnasteks Põhja-Eesti viirsavi, Pärnu ümbruse viirsavide ülemist osa ja viirsavisid Saaremaal Kärilas ning võrdles neid Lõuna-Soomes esinevate Balti jääpaisjärve setetega. Teise gruppi paigutas ta viirsavid Kirde-Eestis ja Pärnu piirkonna alumises osas. Sauramo pakub Eestis tehtud mõõdistamiste kohta avaldatud töös (Sauramo, 1925b) välja ka Sindi läbilõike korrelatsiooni Narva jõe ääres mõõdetud läbilõigetega. Väheste läbilõigete tõttu ei teinud Sauramo järeldusi jäätaande kohta, kuid oluliseks oli tema järeldus Eesti viirsavide sobivuse kohta varvokronoloogiaks. Nimelt mainib ta, et Eesti viirsavid on varvokronoloogia jaoks „vaevalt kasulikud“. See väide pärssis varvokronoloogilisi uuringuid Eestis pika aja vältel.

Mõned aastad Sauramost hiljem (1929) külastas Eestit juba eespool mainitud varvokronoloogia meetodi initsieerija rootslane Gerard De Geer, kes koos geoloogist abikaasa Ebba Hult De Geer'iga mõõdistas ühe läbilõike Pärnu savikarjääris, mis tänaseks paikneb juba linna piires Pärnu mnt ääres vahetult enne ringtee ristmikku. 1937. aastal tegi samas paigas uuringuid ka tema pojapoeg Jan De Geer, kes oma tulemusi võrdles varasema uuringuga (Joonis 8). Oma andmeid võrdles De Geer Sauramo'lt saadud diagrammidega, aga need tulemused jäid



Joonis 7. Matti Sauramo poolt Eestis uuritud läbilõigete asukohad ning Ida- ja Lääne- Eesti varvogrammide korrelatsioon (Sauramo, 1925b).



Joonis 8. Koopiad varvogrammide „tööjoonistest“, mille on koostanud G. De Geer ja J. De Geer möödunud sajandi esimesel poolel. Aastarvud näitavad G. De Geer'i püüdeid seostada Eesti läbilõikeid selle momendi ajaskaalaga Rootsis. Andmed Stockholmi Ülikooli Füüsilise Geograafia Instituudi juures asuvast Geokronoloogia Muuseumist.

avaldamata, kuigi De Geeri mõtisklusi võimalike korrelatsioonide kohta võib leida Geokronoloogia Muuseumis Stockholmi Ülikoolis (Hang, 1998).

Eesti viirsavide varvokronoloogilist potentsiaali on hiljem tõestanud Endel Rähni (Rähni, 1963) ja Reet Karukäpp (Karukäpp *et al.*, 1992). Kirde-Eesti kolme läbilõike andmeil koostas Rähni (1963) 250 aasta pikkuse kronoloogia ja pakkus välja ka nende varviseeriade korrelatsiooni Loode-Venemaa Luga basseiniga, kuid läbilõigete vähesuse tõttu toetus see vaid ülevooluvarvidele mitte varv-varvile korrelatsioonile. E. Pirrus (1968) Kirde-Eestis ja T. Hang (2001) Peipsi basseinis tehtud uuringutes neid ülevooluvarve ei näe, mistõttu ka Rähni korrelatsioonid vajasid korrigeerimist. Uue kronoloogia Kirde- Eesti jaoks ja ka võimaliku korrelatsiooni Loode-Venemaa Luga ja Neva kronoloogiatega on välja pakkunud Hang (2001; 2003).

Eestis on varvokronoloogia seisukohalt peetud kõige perspektiivsemaks alaks Lääne-Eestit (Pirrus, 1968). Seda eelkõige viirsavide ulatusliku leviku, nende suhteliselt suure paksuse ja väga hästi väljakujunenud kihilisuse tõttu. Rähni (1965) uuris Lääne-Eestis 32 läbilõiget, kuid usutavat varv-varvile korrelatsiooni ei suutnud ta esitada. Tema katse kasutada korreleerimisel pakse liivakaid ülevooluvarve (Saarse & Pirrus, 1988) ei andnud samuti usaldatavaid tulemusi, mille üheks põhjuseks võib olla Rähni poolt kasutatud löökpuurimise meetod. On võimalik, et vibratsiooni tagajärjel on varvide paksused muutunud erinevalt, seega korrelatsioon isegi lähestikku paiknevate läbilõigete puhul oli probleemne.

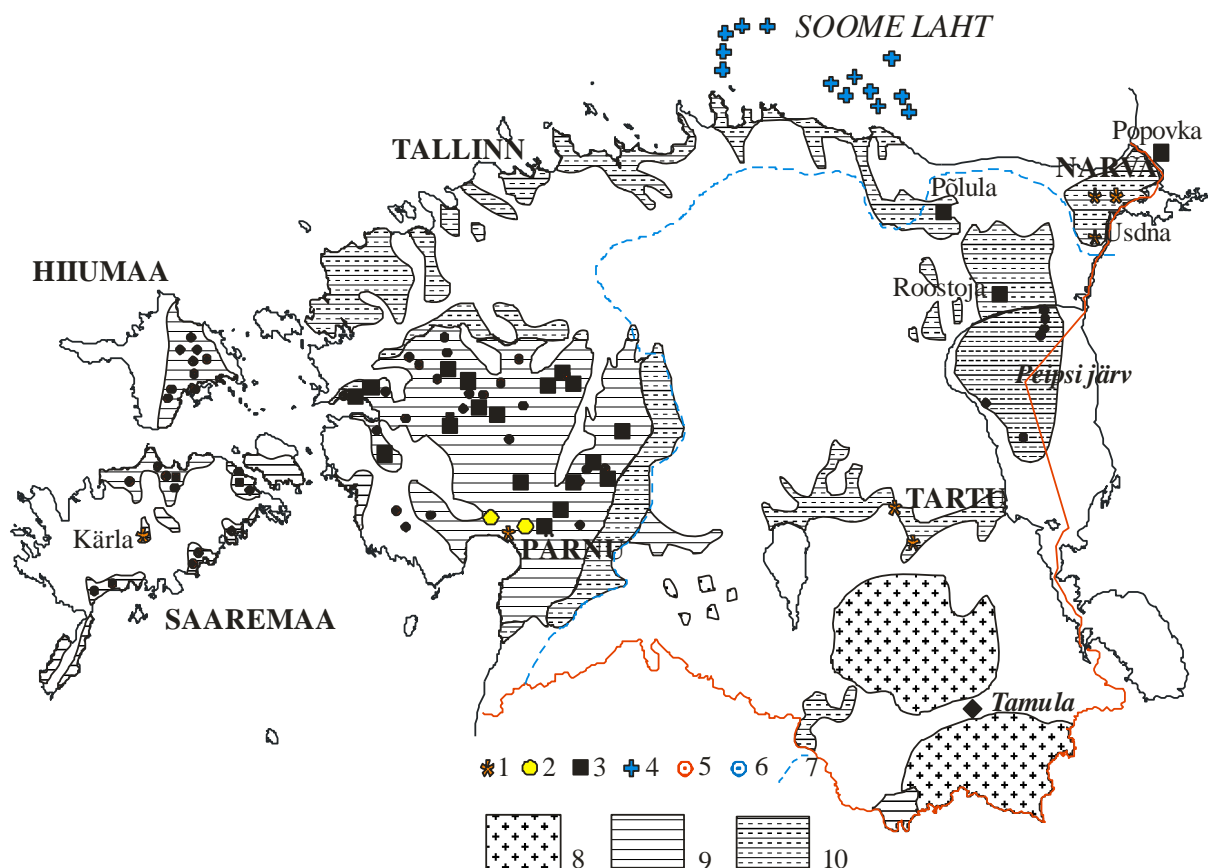
Hiljem jätkati Eesti TA geoloogia instituudis varvokronoloogilisi uuringuid Lääne-Eestis ja saartel, kuid need tulemused on siiani publitseerimata. Üheks põhjuseks, mis on raskendanud korrelatsioonide tegemist, on olnud Lääne-Eesti viirsaviläbilõigete lühike ajaline kestvus. See võib olla põhjustatud Läänemere nooremate staadiumide aegsest lainete kulutavast tegevusest, mille tagajärjel puuduvad läbilõigetest distaalsete varvide intervallid (Hang, 2001). Karukäpp (Karukäpp *et al.*, 1992) koostas 600 aastast koosneva varvokronoloogia Soome lahe jaoks. Koostatud varvogramme ei ole seostatud üldise ajaskaalaga ega teiste kronoloogiatega samast piirkonnast, aga need pakuvad informatsiooni jääjärveliste tingimuste kestuse kohta.

TÜ geoloogia osakonnas on viimasel kümnendil uuritud Pärnu ja vähem Vigala basseini viirsavisid. Pärnu ümbrusest on koostatud 26 läbilõikele toetuv 584 aasta pikkune kohalik varvokronoloogia (Hang & Kohv, 2013). Põnevaks siinjuures on see, et esmakordselt suudeti korreleerida läbilõikeid üle Pandivere servamoodustiste. Vigala basseinis, mis on eraldatud Pärnu basseinist, on koostatud 530 aasta pikkune kohalik kronoloogia. See baseerub küll vaid suhteliselt väikesel alal puuritud 5 läbilõikel, kuid kõik need olid puuritud paralleelselt ning

korreleeritud laboris, mis kindlasti suurendab kronoloogia usaldusväärsust. Otsesel visuaalsel kõrvutamisel Pärnu ja Vigala kronoloogiate sarnasust ei ole võimalik näha. Küll aga andis huvitavaid tulemusi nn statistiline puhastamine, mis seisnes selles, et eraldati nn sedimentatsiooniline signaal ehk siis liustikuserva proksimaalsuse mõju. Selle uuringu tulemusel võib väita, et Vigala basseinis algas viirsavide settimine 140 aastat hiljem kui Pärnu basseinis ja u 40 aastat peale liustikuserva taandumist Pandivere joonelt (Hang *et al.*, 2010). Samuti on üritatud kasutada paleomagnetismi meetodit Pärnu ja Vigala läbilõigete korreleerimisel ja kronoloogiate vanuse määramisel (Tuvikene, 2011; Hang *et al.*, 2010). Selle töö tulemusel võib järeldada, et Pärnu ja Vigala viirsavid on settinud vahemikus u 13 900 kuni 13 300 a.t. Nende uuringute üheks jätkuks on ka käesolev töö, kus üritatakse täiendada Vigala kronoloogiat uute läbilõigetega.

2. Viirsavide levik ja iseloom Eestis

Jääjärvelised viirsavid Eestis on üsna laialdase, aga ebaühtlase levikuga (Joonis 9). Need on kujunenud hilisjääaja kohalikes liustikuesistes järvedes ja Balti jääpaisjärves, kui liustikuserv taandus Eesti alalt u 15 500 – 13 000 aastat tagasi. Neid leidub peamiselt Lääne-Eestis, Põhja-Eesti jõeorgudes, vähem ka Lõuna-Eestis (Joonis 9). Viirsavid lasuvad enamasti moreenil, harvem glatsiofluviaalsetel setetel (Pirrus, 2001). Saarse ja Pirrus (1988) on jääjärvelised savid jaganud kolme rühma.



Joonis 9. Viirsavide levik Eestis (Pirrus, 1968 täiendustega) ja varvokronoloogiliselt uuritud läbilõigete paiknemine. 1 – M. Sauramo (1924) uuritud läbilõiked; 2 – G. De Geer'i ja J. De Geer'i (1929-1937) poolt uuritud läbilõiked; 3 – E. Rähni (1963-1965) poolt uuritud läbilõiked; 4 – R. Karukäpa (1992) poolt uuritud läbilõiked; 5 – Eesti TA Geoloogia instituudis uuritud läbilõiked (avaldamata); 6 – T. Hang (2001) poolt uuritud läbilõiked; 7 – Balti jääpaisjärve kõrgem rannajoon; 8 – Lõuna-Eesti väikestes kohalikes jääjärvedes kujunenud viirsavi; 9 – suured viirsavibasseinid, mis on kujunenud Balti jääpaisjärves; 10 – jääjärve madalaveelises osas või vagumustes settinud viirsavid.

Esimese grupi moodustavad Balti jääpaisjärves tekkinud Lääne-Eestis ja saartel olevad savid, mille paksus on keskmiselt 10-20 m, Pärnu linnas ulatub paksus isegi üle 30 m. Kõige tüsedam savikiht, kust on ka aastavarve loetud, on puuritud Veliselt E. Rähni poolt ja selle paksus on 27

m ja sisaldab 766 aastavarvi (Saarse & Pirrus, 1988). Lääne-Eesti varve iseloomustab suhteliselt väikesed erinevused suve- ja talvekihi lõimises, sesoonsete kihtide sujuv üleminek, samas aga selgesti eristuvad varvid. Tavaliselt on varvid paksud ja savised. Vahepeal esineb ka õhukesi mudaseid kihte, mis ilmselt viitavad suuremale sulamisele või tormilistele perioodidele. Sellistes tingimustes kandus jämedateralisem materjal terve basseini ulatuses (Saarse & Pirrus, 1988) ning settis ka liustikuservast kaugemal. Eesti viirsavidest sobivad varvokronoloogilisteks uuringuteks just Lääne-Eesti savid kõige paremini (Hang, 1998).

Teise gruppi kuuluvad viirsavid esinevad Põhja-Eestis Balti klindi esistel tasandikel, karbonaatsel platool, Kesk-Eesti madalikul ja mitmetes jõeorgudes. Suve- ja talvekihtide piirid on selged ning viirsavide paksus 3-5 m, suurim 20 m. Viirsavides esineb ka päevakihte, mis on tekkinud väljavenitatud piklikes basseinides, kus settematerjal sai liikuda vaid ühes suunas. Klindiesiste viirsavide abil jääjärveliste veekogude rekonstrueerimine on keeruline, kergem on seda teha klindist lõunasse jäävate viirsavidega, mis on sarnased Loode-Venemaa savidega.

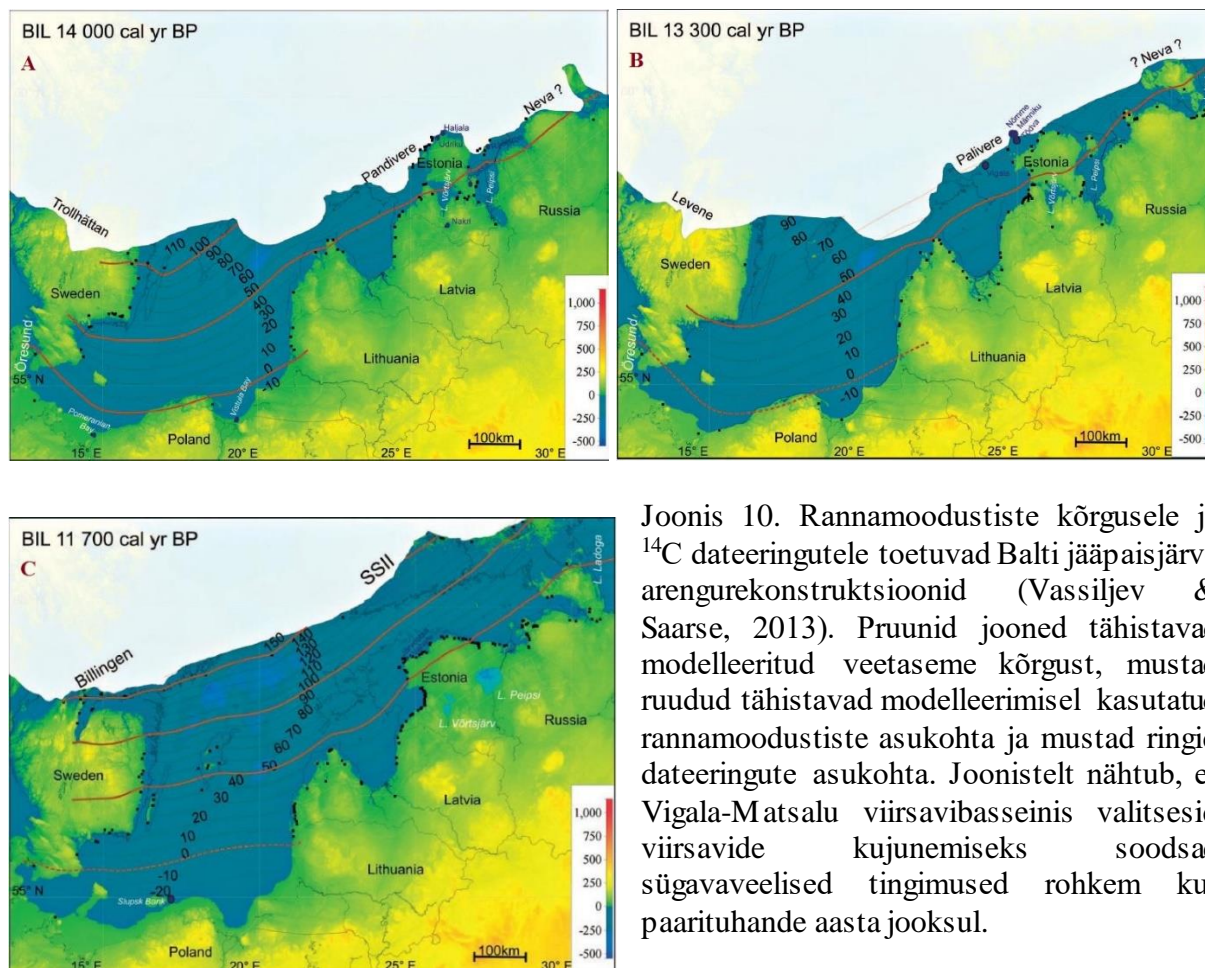
Kolmanda grupi moodustavad Kagu-Eesti kõrgustikel väiksemates jääpaisjärvedes settinud viirsavid, mille keskmine paksus on 1-3 m, suurimad kuni 10 m. Varvid on halvasti välja kujunenud ning neil puuduvad selgesti eristuvad piirid, sest materjal liikus basseini mitmest küljest ja väikeste basseinide tõttu oli ka transporditee suhteliselt lühike ning kohati ka veesügavus mitte piisav settematerjali diferentseerumiseks.

2.1 Jääpaisjärved

Umbes 15 000 a tagasi, kui viimane mandriliustik taandus ja sulas, algas Läänemere nõos jääpaisjärvede teke. Tuhanda aasta pärast oli välja kujunenud kaks peamist jääpaisjärve. Lõuna-Balti jääpaisjärv oli suurem ning kattis Lõuna-Rootsit ja Riia lahte. Teine ja väiksem Ramsay jääpaisjärv asus Soome lahe idaosas ning ühendas Peipsi ja Ladoga nõos olnud veekogu.

Umbes 13 000 a tagasi moodustus ka Lõuna-Balti ja Ramsay järve hõlmav Balti jääpaisjärv, mille veerežiim oli väga muutlik. Sel ajal ulatus veetase Vigala-Matsalu basseinis 50-60 m ü.m.p. 11 700 a. t. aga tekkis ühendus Kesk-Rootsist Balti jääpaisjärve ja ookeaniga ning paisjärve veetase alanes 25-27 m. Joonis 10C näitab situatsiooni vahetult enne seda nn Billingeni katastroofi, mil veetase käesoleval uuringualal võis olla u 40 m ü.m.p. Järve ühinemine ookeaniga kajastub ka viirsavi varvides: Soome lahes (Kiipli *et al.*, 1993) lõppeb viirsavi ülemine piir kuni 10 cm paksuse aleuriidi kihiga (Raukas, 1995), Läänemere nõo lääneosas tähistab Billingeni katastroofi aga järsk värvimuutus ja varvipaksuste vähenemine

viirsavides. Eesti viirsavides selle sündmuse jälgi seni täheldatud ei ole, aga liustikuserva kauguse tõttu võis viirsavide settimine selleks ajaks juba ka lõppenud olla.



Joonis 10. Rannamoodustiste kõrgusele ja ^{14}C dateeringutele toetuvad Balti jääpaisjärve arengurekonstruktsioonid (Vassiljev & Saarse, 2013). Pruunid jooned tähistavad modelleeritud veetaseme kõrgust, mustad ruudud tähistavad modelleerimisel kasutatud rannamoodustiste asukohta ja mustad ringid dateeringute asukohta. Joonistelt nähtub, et Vigala-Matsalu viirsavibasseinis valitsesid viirsavide kujunemiseks soodsad sügavaveelised tingimused rohkem kui paarituhande aasta jooksul.

2.2 Uuringuala geoloogia

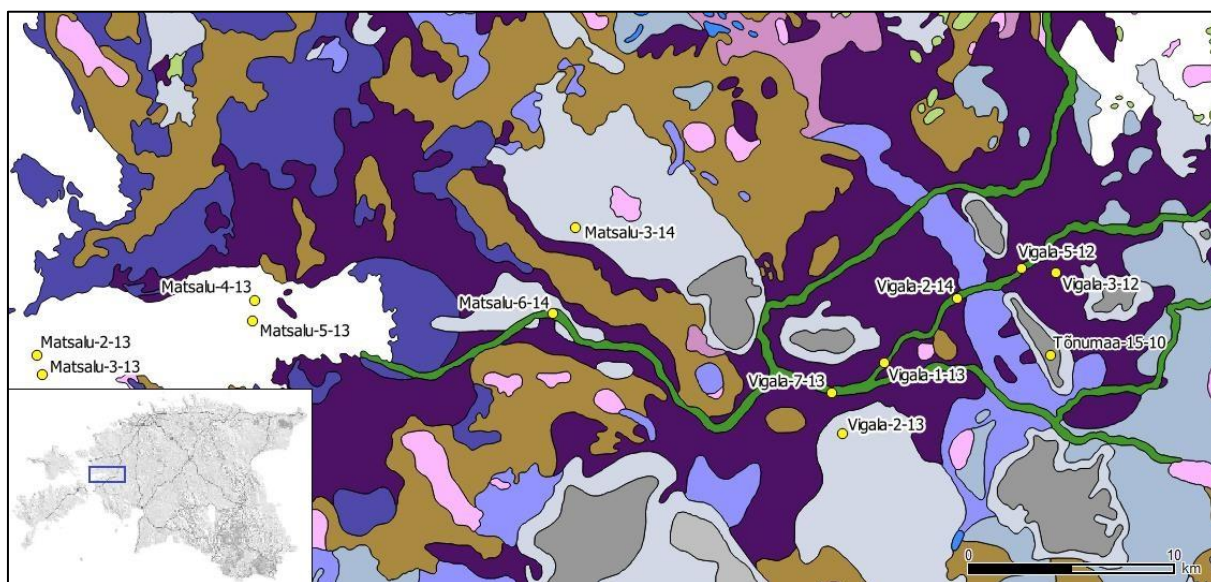
Maastikuliselt laiub uuringuala tasase reljeefiga Lääne-Eesti madalikul, kus läänesuunalise kallakusega maapinna kõrgus jääb valdavalt alla 10 m ü.m.p. ja ulatub Vana-Vigala ümbruses kuni 20 m ü.m.p. Tasast reljeefi liigestavad kuni 30 m absoluutkõrguseni ulatuvate paekõvikute ahelik ala lõunapiiril ja Läänemere eri staadiumide rannamoodustised. Reljeefi ja hilisemale maastike kujunemisele on mõju avaldanud lõuna-kagu sihiliselt liikunud mandrijää, selle sulamisel maha jäänud setted, Läänemere areng ning pärastjääajal toimunud soostumine ja jõgede tegevus. Aluspõhjalisel liustiku kulutustasandikul avanevad Alam-Siluri Adavere, Raikküla ja Jaani lademetest merglid, lubjakivid ja dolokivid. Just Jaagarahu lademe biohermsed lubjakivid, mis on ümbritsevatest kivimitest vastupidavamad, on liustiku poolt

vähemkulutatuna jäänud maastikku paekühmudena (kõvikutena) näiteks Avastes, Kirblas jm. Nende kõrval paikneb aluspõhja pealispinna kõrgus alla 10 m ü.m.p.. Uuringuala läbib ida-lääne – loode-kagu suunaliselt nooremate setete alla mattunud aluspõhjaline org, mille sügavus Vana-Vigala kohal küündib kuni 48 m alla perepinna (Tavast & Raukas, 1982). Siinjuures on selle oru rõhutamine oluline, kuna selle kohal paikneb seni teadaolevalt Vigala basseini kõige tüsedam viirsavilasund. Kuivõrd uuringualal glatsiaalseid kuhjevorme ei esine, siis katab aluspõhja suhteliselt õhuke põhimoreeni kiht, mis nooremate setete alla mattununa avaneb vaid laiguti. Moreeni lainja pealispinna tõttu on seda katva jääjärvelise viirsavi paksus väga varieeruv ulatudes maksimaalselt 15 meetrini Matsalu lahest kagus ja Vana-Vigala ümbruses, kuid jäädes valdavalt 5-7 m piiresse. Osalt lainja alusreljeefi ja osalt hilisema Läänemere lainete abrasiooni tõttu ei ole viirsavi levik ühtlane (Joonis 11), kuid siiski moodustavad Vigala ja Matsalu ümbrus ühtse viirsavibasseini, kus savi settimine Balti jääpaisjärves oli üheaegne ning seetõttu võib eeldada eri piirkondade setteläbilõigete korrelatsiooni võimalust.

Settimisjärgselt on viirsavi paksust mõjutanud hilisem Läänemere kulutav ja kuhjav tegevus. Nii läbib uuringuala Vana-Vigala kohal loode-kagu suunaliselt Litoriinamere rannamoodustiste vöönd, kus esinevad liivased-kruusased rannasetted ja kohati astanguliselt järsk rannajärsak. Sellest lääne pool on viirsavi pealispind 8-9 m ja ida pool 12-14 m kõrgusel. Mere mõjule viitab ka see, et valdavalt on viirsavi kaetud erineva paksusega mereliivadega. Savipinnase halva veejuhtivuse tõttu reljeefi madalamates osades toimunud soostumise tõttu on tänaseks suur osa uuringualast kaetud soodega, mis samuti liigestab üldist savide levikupilti (Joonis 11). Savi pinda omakorda liigestavad ala idaosas kuni 5 m ja lääneosas paari meetri sügavused jõeorud (Joonis 11).

Matsalu laht Lääne-Eestis ulatub kuni 17 km sisemaale ja selle laiuks mõõdetakse 4-6 km. Veesügavus lahe suudmes on u 4 m, lahe keskosas 2,5 m, lahe idapoolses osas 1-15 m ning veealune rannanõlv lahe päras on väga lauge, mis põhjustab u 2 mm/a maakerke tingimustes rannajoone kiiret regressiooni. Matsalu lahe aluspõhja moodustavad Siluri ladestu Adavere ja Jaani lademe lubjakivid ja merglid. Eesti šelfi Kvaternaarisetetest esineb Matsalu lahes moreeni ja jääjärvelist viirsavi. Nende setete paksuse kohta täpsemad andmed puuduvad. Rohkem on uuritud pindmisi meresetteid. Nendest uuringutest on selgunud näiteks viirsavi pealispinna kõrguse üsna suur varieeruvus. Kohati viirsavi avaneb 1-2 m sügavuse lahe põhjas. Samas aga esineb viirsavi pinnas kuni 6 m sügavused lohud, üks lahe idaosas ja teine keskosas. Väheste puurandmete tõttu ei ole teada nende lohude täpsem kuju, mis raskendab nende geneesi määramist. Küll aga on teada, et need lohud on täitunud Holotseensete meresetetega, milleks

on valdavalt orgaanikat sisaldav aleuriit, vähem liivased setted. Lahe põhja- ja lõunaosas on moreenil jäänuksetted, nagu kruus, veerised ja liiv. Lahe idaosas on aleuriitsed avadelta setted (Kiipli *et al.*, 1993).

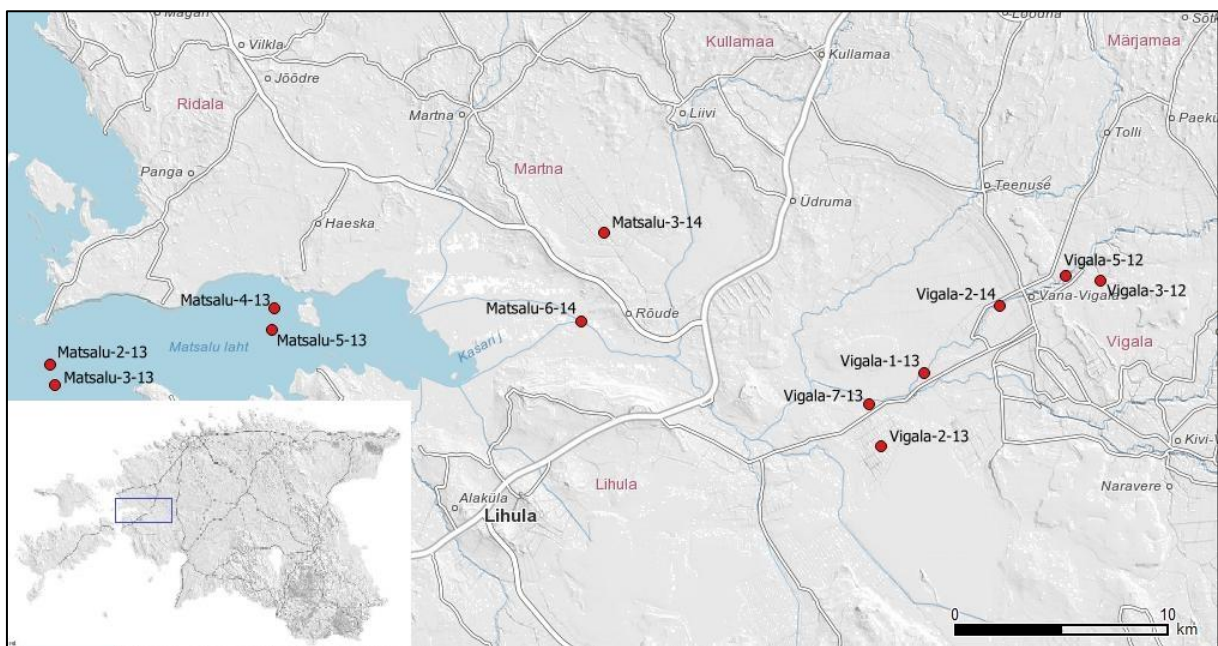


- Jääjärve setted. Liivsavi, savi, viirsavi
- Aluspõhjajakivimid
- Moreen. Liivsavi ja saviliiv kividega ning rähk
- Glatsiofluviaalsed setted. Veeristik, kruus, liiv
- Antsülusjärve setted. Klibu, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, savi, sapropeel
- Litoriinamere setted. Klibu, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, savi, sapropeel
- Limneamere setted. Klibu, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, savi, sapropeel
- Balti jääjärvesetted. Klibu, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, savi
- Järvesetted. Klibu, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, savi, sapropeel
- Jõesetted. Veeristik, liiv, möll, saviliiv, liivsavi, muda
- Madalooturvas
- Siirdesooturvas
- Rabaturvas

Joonis 11. Kvaternaarisetete levik Kajak (1999) järgi, koos uuritud puuraukude asukohtadega.

3. Materjal ja meetodika

Uurimistö jaoks oli kasutada 12 setteläbilõiget, mis olid olnud hoiul TÜ geoloogia osakonna proovihoidlas 2-4 aastat. Killesse ja plastrennidesse pakituna olid proovid säilinud kuivamata, kuid vajasisid enne puhastamist veel vahelduvalt niisutamist ja kuivatamist, et varvide piirid visuaalselt selgemalt eristuksid. Kasutatud läbilõigetest 6 olid puuritud Matsalu lahe jäält (geograafia magistriõppekava „Geomorfoloogia II“ kursuse raames) ja lahe ümbrusest ning 6 Vigala ümbruses (Joonis 12). Läbilõiked nimetati asukoha, läbilõike numbri ja aastaarvu järgi. Näiteks Vigala-1-13 – 1 märgib, mitmes läbilõige Vigala piirkonnast ja arv 13 märgib aastat 2013. Uuringupunktide ebaühtlase paiknemise tõttu ning kirjeldustest ja korrelatsioonidest parema ülevaate saamiseks on uuringuala tinglikult jaotatud veel kaheks: Matsalu laht ja selle lähiümbrus ning Vigala.



Joonis 12. Puuraukude paiknemine Matsalu lahe ja Vigala ümbruses.

Proovide kogumisel maismaal kasutati tugevdatud konstruktsiooniga nn Valgevene tüüpi soopuuri, mis suruti settesse mehaanilise puurseadme „Tando Terrier 2002“ abil. Puurimisel Matsalu lahe jäält kasutati sama tüüpi käsipuuri. Puurkannu pikkus oli 1 meeter ja läbimõõt 10 cm (käsipuuril 7 cm või 4 cm) ja puurimine toimus meetriste intervallide kaupa. Sellisel puurimisel võib tekkida probleeme üksikute setteintervallide kokku sobitamisel, kuna puurimise ajal on üsna keerukas täpset puurimise sügavust määrata. Seetõttu oleks parim

lahendus igas uuringupunktis puurida 2 paralleelset läbilõiget, mis paraku teeb töö märksa mahukamaks ja ka kallimaks. Kahjuks oligi antud töö tarvis selliseid kattuvaid läbilõikeid kasutada vaid kaks (Matsalu-3-14 ja Vigala-2-14), kuna ülejäänutes oli välitöödel piiratud ühekordse puurimisega. Saadud setteintervallid pakiti kiledesse ja asetati plastikrennidesse, et oleks tagatud proovide säilimine transpordil.

Laboris pakiti läbilõiked lahti ja asetati alustele 2016. ja 2017. aastal. Esmalt niisutati läbilõikeid ning puhastati noaga nende kumer pealispind. Seejärel jäeti need kuivama ning sama protseduuri korrati. Niisutada tuli, et läbilõiked täiesti ära ei kuivaks ning pragunema ei hakkaks ning et kihipiirid selgemalt eristuksid. Nende tegevuste järel tähistati varvide piirid nõeltega, et tekiks parem ülevaade ning seejärel joonistati varvide ja sesoonsuse piirid paberlindile. Samale lindile kirjeldati ka varvisesiseid tekstuure, lõimist ja värvusi. Seejärel mõõdeti millimeetripaberi abil varvide paksused, eristades sesoonseid kihte ning kanti andmed tabelitöötlusprogrammi Excel. Graafikute tegemiseks kasutati programmi SigmaPlot.

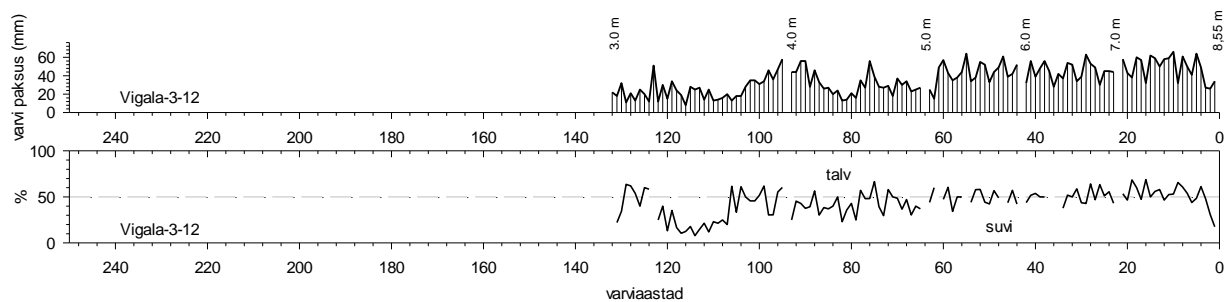
Et paremini jälgida võimalikke settimistingimuste muutusi basseinis, esitati eraldi diagrammil suve- ja talvekihi paksuste protsentuaalsed muutused varvide kaupa. Erinevate läbilõigete vahetul kõrvutamisel laboris märgiti sarnase paksuse, värvuse ja sisemise tekstuuriga varvid või varviseeriad, mis võimaldas hiljem varvogramme korreleerida. Varem uuritud läbilõigete (Joonis 11) varvomeetiline andmestik saadi TÕ geoloogia osakonnas graafilisel kujul, mistõttu toimus nende korrelatsioon uuritud läbilõigetega puht varvipaksuse graafikuid kasutades.

Kuna puudub selge eestikeelne varvokronoloogia alane terminoloogia, siis käesolevas töös on varvipaksuste muutusi läbilõikes iseloomustavaid diagramme nimetatud *varvogrammideks* (varve graph). Üksteisele lähedal paiknevate läbilõigete varvogrammide korreleerimisel on saadud *kohalik varvokronoloogia* (local varve-chronology), mis baseerub *suhtelisel ajaskaalal* (relative time-scale), kus piirkonna kõige alumine (kõige vanem) varv on ajaskaalal loetud 0-aastaks (zero year). Käesolevas töös nimetatakse *kohalikuks varvokronoloogiaks* nii teatud väikesel alal (nt Matsalu laht) uuritud üksikute läbilõiget korrelatsiooni kui ka laiemal alal (nt kogu Vigala-Matsalu viirsavibassein) uuritud läbilõigete korrelatsiooni.

4. Tulemused

Tulemuste osas esitatakse andmed käesoleva töö raames kirjeldatud ja mõõdistatud Vigala ja Matsalu ümbruse setteläbilõigete kohta: nende asukoht, läbilõike pikkus ja savikihi paksus, varvide arv ja varvomeetriline andmestik. Uuritud läbilõigete korrelatsiooni võimalusi arutletakse „Arutelu“ peatükis. Seal käsitletakse ka korrelatsiooni võimalusi Vigala-Matsalu viirsavibasseini varem uuritud läbilõigetega.

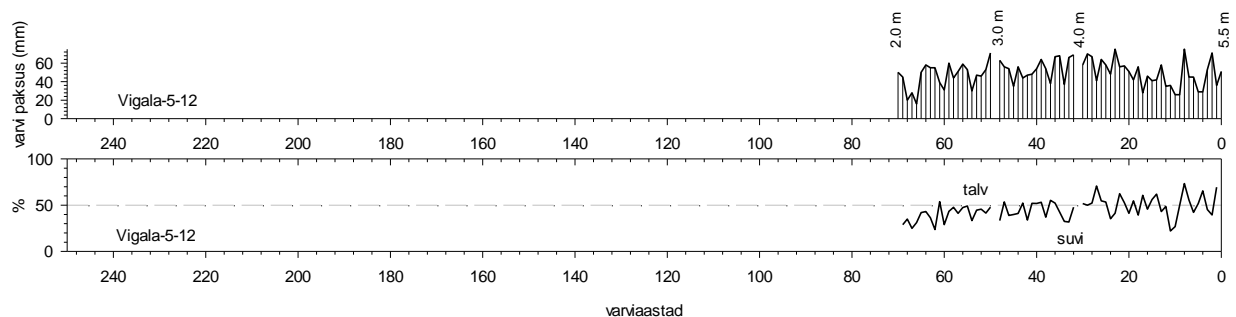
Käesoleva uurimuse raames kirjeldati ja mõõdistati kokku 12 viirsaviläbilõiget nn Vigala-Matsalu viirsavibasseinis (Joonis 12). Puuraugud on kontsentreerunud Vana-Vigala ümbrusse ning Matsalu lahele, üksikud paiknevad ka Teenuse, Rõude ja Lihula pool. Puuraukude paiknemine uuringualal on ebaühtlane osaliselt savide leviku tõttu (Joonis 11). Kuna kasutati mehaanilist puurseadet, siis mõjutas uuringupunktide asukohta ka juurdepääs. Potentsiaalsed puurimise kohad määrati eelnevalt geoloogilisel kaardil näidatud viirsavide leviku alal, kus eeldati suuremaid paksusi just savimaardlate alal, mis samuti on üheks põhjuseks puuraukude ebaühtlasele paiknemisele. Matsalu lahel eeldati tüsedamat savikihti võimalikult Väinamere suunas ehk sügavamas vees. Üllatavalt aga olid sealsed läbilõiked lühemad võrreldes lahe keskosaga, kus puuriti varasema geoloogilise uuringuga kindlaks tehtud paksema viirsavi leviku alal. Üldiselt on viirsavi paksust konkreetsetes kohas väga raske ennustada, kuna see sõltub otseselt savi alusest liustikulisest reljefist, olles alati suurem alusreljeefi nõgudes. Uuritud läbilõigetes oli viirsavi paksus kõige suurem Vigala-2-14 puuraugus (8,3 m) ja kõige lühem läbilõige puuriti Matsalu-3-13 (2,5 m). Keskmiselt olid savi läbilõiked 5,07 m pikkused. Kuna settimiskiirused, mis peegelduvad varvide paksuses, on olnud väga suured jäädes 36-81 mm/a vahemikku, siis ka kõige pikemas läbilõikes esines vaid 159 aastavarvi, mis kokkuvõttes kahtlemata muutsid kronoloogilised uuringud keerukamaks.



Joonis 13. Vigala-3-12 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 1. Vigala-3-12 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

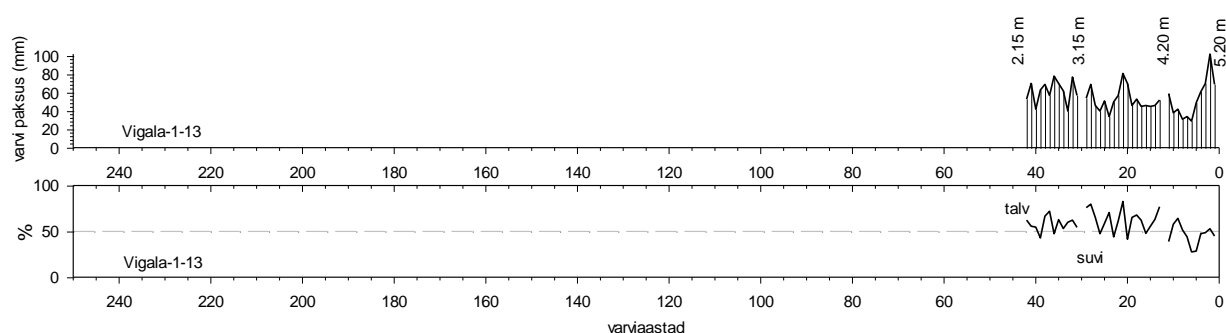
Vigala-3-12 N 58° 47' 00,9" ja E 24° 18' 39,1" PA suudme kõrgus 16,5 m ü.m.p	Vana-Vigalast u 3 km idas, metsavendade nn „Põrgupõhja punkri“ tee ääres (Joonis 12).
0-1,00 m	Täide
1,00-2,50 m	Roostevärvi aleuriit, massiivne; järsk piir viirsaviga.
2,50-8,55 m	Viirsavi. Aastavarve on kokku 132. Läbilõike alumised 63 aastavarvi on ühtlase paksuse ja selle muutlikkusega 30-70 mm. Varvisesed sesoonsed kihid on suhteliselt võrdse paksusega, üsna väikese suvekihi ülekaaluga (Joonis 13). 5 m-st kõrgemale varvipaksuse muutlikkus suureneb ulatudes 13-58 mm-ni, samuti on näha perioodilised varvipaksuse muutused. Läbilõike ülemise meetri varvid on suurema savisisalduse tõttu ebamäärased ja eriti sesoonsete kihtide piire on raske määrata. Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
8,55-8,85 m	Pruunikas-hall massiivne saviliiv moreen üksikute veeristega.



Joonis 14. Vigala-5-12 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 2. Vigala-5-12 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

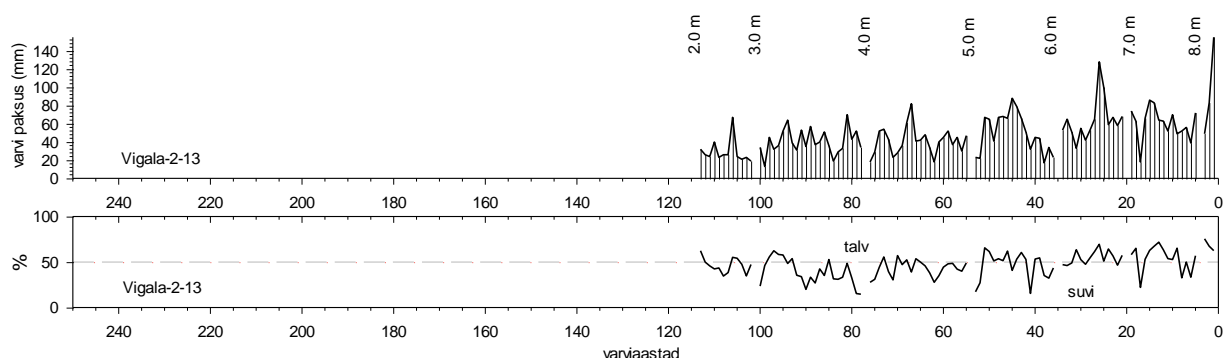
Vigala-5-12 N 58° 48' 08,2" ja E 24° 16' 55,2" PA suudme kõrgus 16,5 m ü.m.p	Umbes 3 km Vigalast kirdes, Vigala-Märjamaa tee ääres metsas (Joonis 12).
0-2,00 m	Täide ja turbamuld
2,00-5,50 m	Viirsavi. Savikihi paksus on 3,5 m ja kokku on 70 aastavarvi. Alt kuni 1,5 m-ni on varvide paksus kõikuv, jäädes vahemikku 26-75 mm. Sesonsete kihtide түsedus varvis on enam-vähem võrdne. 48. varvist ehk kõige ülemises meetris on talvekihid suvedest paksemad (Joonis 14). Puurimisel ei jõutud viirsavist läbi.



Joonis 15. Vigala-1-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 3. Vigala-1-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

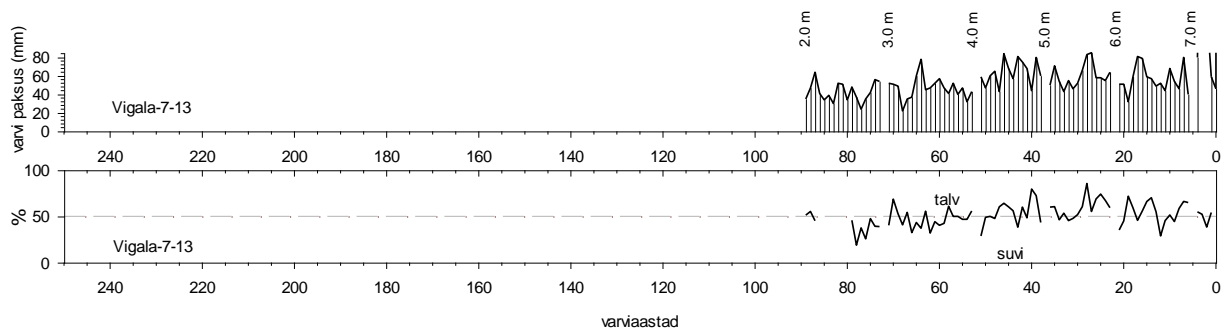
Vigala-1-13 N 58° 44' 40,8" E 24° 10' 01,5" PA suudme kõrgus 6,5 m ü.m.p	Rumbast u 1,5 km kirdes. Vigala jõe paremkaldast u 20 m (Joonis 12).
0-1,15 m	Kuivamiskoorik, aleuriit ja peeneteraline liiv.
1,15-5,07 m	Viirsavi. Savi kihiline tekstuur oli jälgitav vaid alumises 3,05 m ulatuses, kuna savi ülemises osas olid kihid deformeerunud ja kihipiiride määramine võimatu. Kokku loeti läbilõikes vaid 42 aastavarvi (Joonis 15). Esimesed varvid on ülejäänutest selgelt paksemad, ulatudes üle 100 mm, ning neis on suve- ja talvekihid võrdse paksusega. Neile järgneb 6 aastavarvist koosnev seeria, mis on eelnevatest märksa õhemad. 4,20 meetrist ülespoole on varvide iseloom sarnane, nende paksus muutub vahemikus 34-81 mm ning varvi sees on ülekaalus suvekihid. Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
5,07-5,20 m	Pruunikas-hall saviliiv moreen.



Joonis 16. Vigala-2-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 4. Vigala-2-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

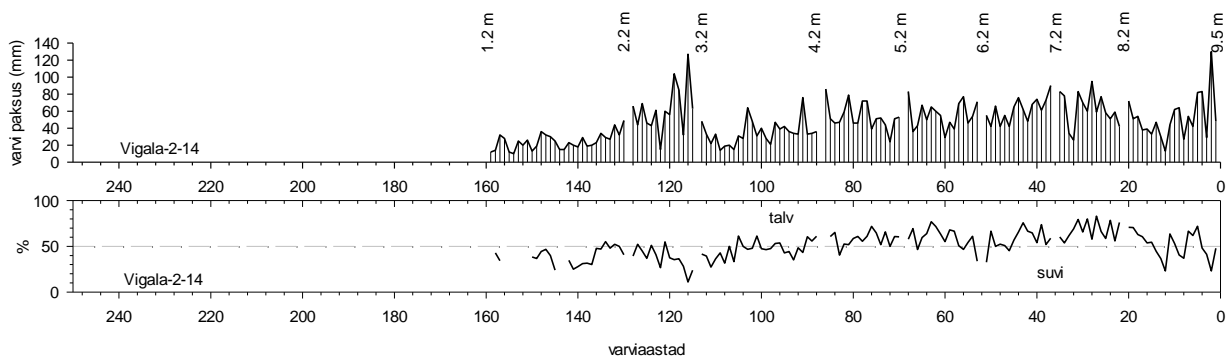
Vigala-2-13 N 58° 42' 50,3" ja E 24° 07' 54,3" PA suudme kõrgus 8,5 m ü.m.p	Rumbast u 2,5 km edelas (Joonis 12).
0-2,10 m	Turvas
2,10-2,60 m	Massiivne peliitaleuriit 40 cm ja selle peal omakorda peenliiv 12 cm.
2,60-8,40 m	Viirsavi. Kokku loendati 113 aastavarvi, millest kõige alumine varv on ka varviseeria kõige tusedam ulatudes 155 mm-ni (Joonis 16). Edaspidi on varvide üldiselt kahanev paksus väga varieeruv vahemikus 13-155 mm. Samuti on sesoonsete kihtide paksus väga varieeruv. Kuni 6 meetrini on varvid selged ja paksud, sealt edasi muutuvad suvekihid peliitsemaks ja varvide nagu ka sesoonsete kihtide eristamine muutub raskemaks. Alates 3,50 m muutuvad varvid taas selgemaks, sest suvekihi materjal on aleuriitsem. Kihiline tekstuur on jälgitav kuni 2,6 m sügavuseni. Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
8,40-10,00 m	Savikiht lasub u 70 cm paksusel pruunikas-hallil väheste veeristega saviliiv moreenil. Moreeni ja savi kontaktil esineb u 50 cm paksuselt massiivne valkjashall aleuriit, millel on ebamäärane kontakt lasuva saviga.



Joonis 17. Vigala-7-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 5. Vigala-7-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

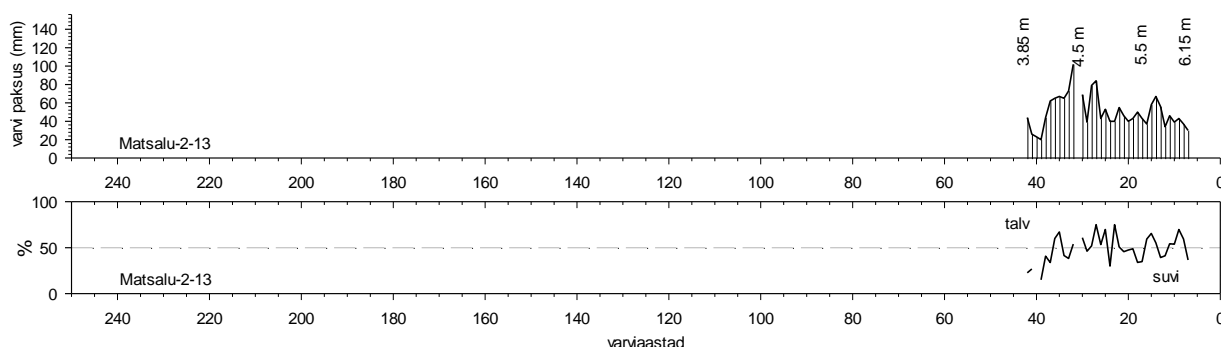
Vigala-7-13 N 58° 43' 53,5" ja E 24° 07' 20,3" PA suudme kõrgus 5,5 m ü.m.p	Rumbast u 1,5 edelas, Võhma ja Rumba küla vahel Vigala jõe vasakkaldal (Joonis 12).
2,00-7,60 m	Viirsavi. Kokku on varviseerias 89 aastavarvi (Joonis 17). Esimesed varvid on väga paksud, kuni 247 mm, kuid üsna ebamäärased ja seetõttu on raske määrata, kas tegu on tõeste aastavarvidega. Terves läbilõikes esinevad paksud (22-247 mm) ja selged proksimaalsed varvid. Talvekihi osa varvis hakkab suurenema alates 60. varvist. Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
7,60-8,00 m	Moreeni ja savi kontaktil esineb 50 cm paksuselt massiivse aleuriidi kiht. Selle all valkjashall moreen, mille ülemisest osast on peliitne fraktsioon ilmselt välja pestud ja mis on seetõttu kruusakas liiv üksikute väheümardunud veeristega.



Joonis 18. Vigala-2-14 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 6. Vigala-2-14 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

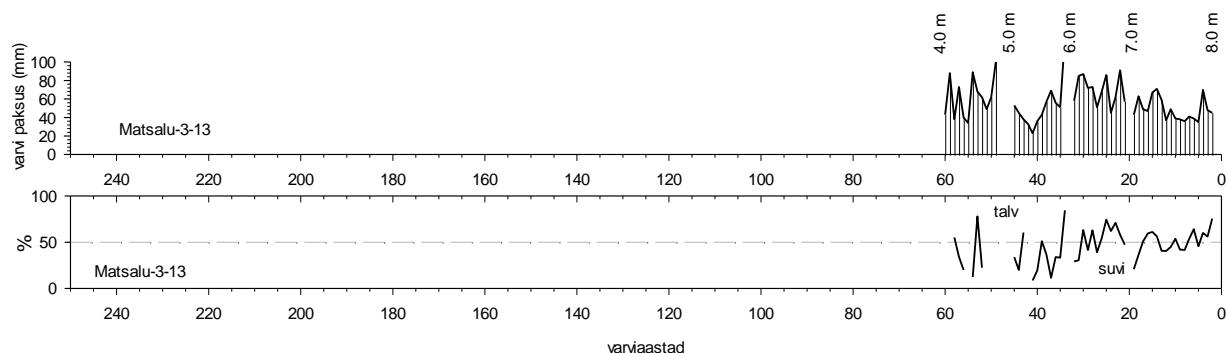
Vigala-2-14 N 58° 46' 22,0" ja E 24° 13' 42,7" PA suudme kõrgus 9,0 m ü.m.p	Vana-Vigalast u 1,5 km edelas Vigala jõe paremkaldal (Joonis 12).
0-1,20 m	Muld ja savi. Sellele järgneb kruusakas liiv, mis on arvatavasti jõe süvenduse materjal.
1,20-9,50 m	Viirsavi. Kokku on varve 159. Läbilõige algab hästi paksu suvekihiga (u 30 cm). Sügavamad varvid on väga kõikuva paksusega – 13-130 mm. Samuti vahelduva suve- ja talvekihtide osakaaluga varvides (Joonis 18). Kuni 115. varvini kõiguvad varvide paksused ühtlase amplituudiga, 116. ja 119. varv on erakordselt tusedad – vastavalt 127 ja 104 mm. 116. varvi suvekihi paksus on ka kogu läbilõike kõige väiksem, kõigest 11% kogu varvi paksusest. 1,2-2,2 m alguses muutuvad sesoonsete kihtide piirid ebamääraseks ning läbilõike ülemises osas on ka varvide eristamine probleemne. Puurimisel ei jõutud viirsavist läbi.



Joonis 19. Matsalu-2-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 7. Matsalu-2-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

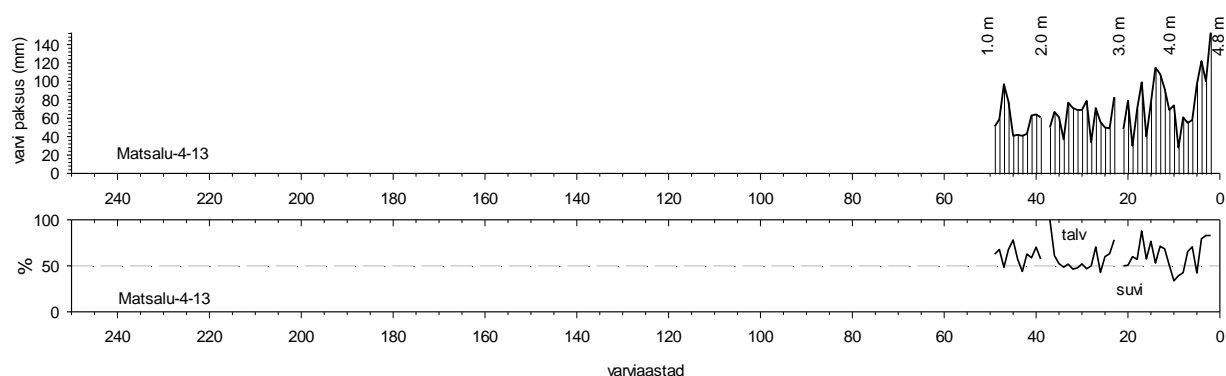
Matsalu-2-13 N 58° 44' 49,4" ja E 23° 27' 22,2"	Matsalu laht, Puise ninast u 2 km lõunas (Joonis 12).
0-3,40 m	Vesi
3,40-3,60 m	Veeristega liiv.
3,60-6,15 m	Viirsavi. Kokku on varve 42. U 3,8 m sügavusel on erosioonipind, sest seal on varviseeria kõige õhemad aastakihid – 20-26 mm (Joonis 19). 4,5 m-ni on paksud ja ebamäärasead varvid, sest kihid on vähem aleuriitsemad. 4,5 m-st sügavamal selged paksud varvid, mis omakorda lasuvad deformeerunud varvidel (u 40 cm). Sügavamal esinevad hästi aleuriitsed varvid. Puurimisel ei jõutud viirsavist läbi.



Joonis 20. Matsalu-3-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 8. Matsalu-3-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

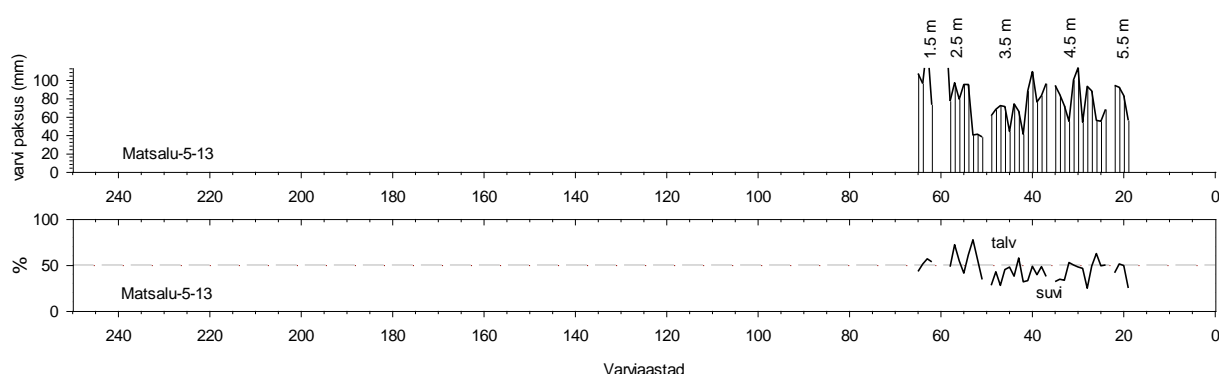
Matsalu-3-13 N 58° 44' 18,2" ja E 23° 27' 37,9"	Matsalu laht, Puise ninast u 3 km lõunas (Joonis 12).
0-3,90 m	Vesi
3,90-5,50 m	Homogeenne savi.
5,50-8,00 m	Viirsavi. Varviseerias on kokku 60 varvi. Kõige õhemad (23-33 mm) on 41. ja 42. varv, mis jäävad 5,5 m sügavusele (Joonis 20). Sealt kuni 6,8 m on suvekihid vähealeuriitsed. 6,8 m-st sügavamal on varvid väga selged. Suvekihid on kohati väga aleuriitse algusega ning neis leidub aleuriidi lamelle. Talvekihid on pruunid ja rasvased. Sesoonsed üleminekud on halvasti eristatavad. Puurimisel ei jõutud viirsavist läbi.



Joonis 21. Matsalu-4-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 9. Matsalu-4-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

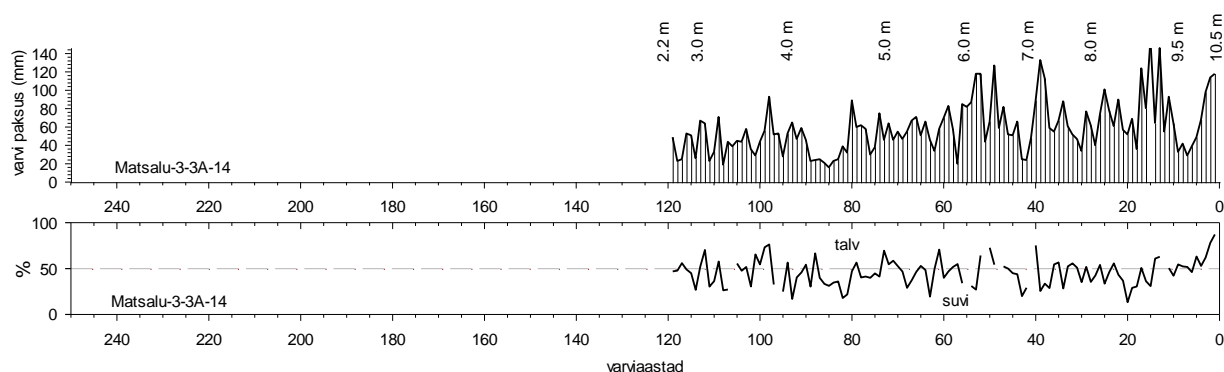
Matsalu-4-13 N 58° 46' 17,5" ja E 23° 38' 18,9"	Matsalu laht, Haeska linnutornist u 1,5 km edelas (Joonis 12).
0-1,00 m	Vesi
1,00-1,15 m	Peenliiv, erosiooni kontakt.
1,15-4,80 m	Viirsavi. Kokku loendati 49 varvi, kuid puurimisega ei jõutud viirsavist läbi. Kõige paksem varv (153 mm) asub kõige sügavamal. Sellele järgnevate varvide paksused kõiguvad suuresti – 28-115 mm (Joonis 21). Sügavamal paiknevad varvid on aleuriitsed, üleval aga savised. Peaaegu terve varviseeria ulatuses on varvisiseselt suvekihid ülekaalus.



Joonis 22. Matsalu-5-13 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 10. Matsalu-5-13 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

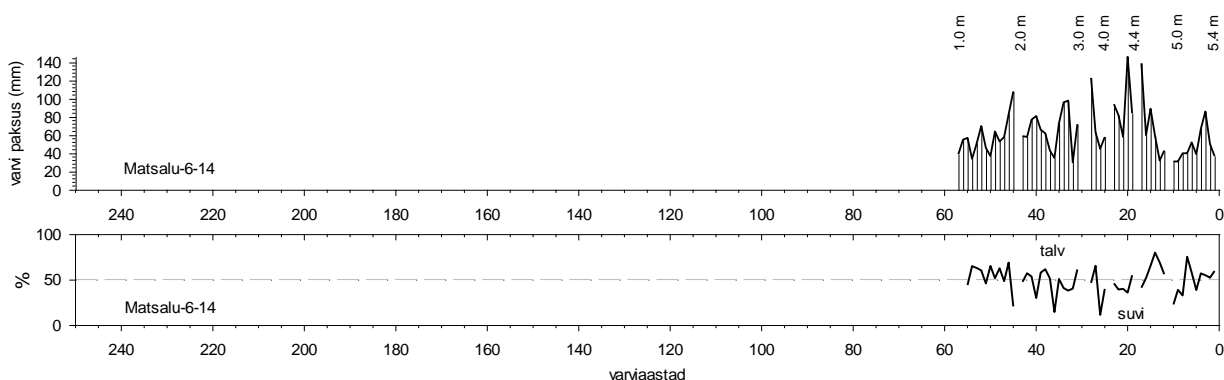
Matsalu-5-13 N 58° 45' 45,5" ja E 23° 38' 11,3"	Matsalu laht, Haeska linnutornist u 2,8 km edelas (Joonis 12).
0-1,40 m	Vesi
1,40-8,78	Viirsavi. Kokku on 65 varvi (Joonis 22). Savi kihiline tekstuur on jälgitav u 2,2 -5,3 m sügavusel, sellest üleval ja allpool on varvid deformeerunud ning pole siin analüüsiks kasutatud. Aastakihid on varviseeria lõikes üsna түsedad, kuni 113 mm, kõige õhemad varvid on 40-41 mm. Kuni 3,5 m-ni on ülekaalus talvekihid, sealt sügavamal aga suvekihid. Alumised varvid on aleuriitsed ning neis esinevad mustad triibud. Puurimisel ei jõutud viirsavist läbi.



Joonis 23. Matsalu-3-14 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 11. Matsalu-3-14 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

Matsalu-3-14 N 58° 48' 13,7" ja E 23° 54' 25,4" PA suudme kõrgus 7,5 m ü.m.p	Rõudest u 4 km loodes (Joonis 12).
0-2,40 m	Homogeenne savi, mida katab keskmiselt lagunenud must turvas.
2,40-10,10 m	Viirsavi. Kokku moodustab varviseeria 119 varvi. Nii varvid kui ka sesoonsed kihid on läbilõikes väga muutuva paksusega. Tüsedamad varvid on altpoolt esimeses meetris – 13., 15. ja 17. Nende paksused on vastavalt 146, 155 ja 124 mm. Kõige õhemad aastakihi paiknevad 4 ja 5 m vahel paksusega 16-25 mm. Väga varieeruva paksusega sesoonsete kihtide suhe on pigem talvekihi kasuks (Joonis 23). Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
10,10-10,50 m	Valkjashall liivsavi moreen, mis sisaldab vähesel määral veeriseid ja kruusaterasid.



Joonis 24. Matsalu-6-14 läbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide paksuste suhtediagramm. Varvogrammi peal olevad numbrid näitavad sügavust maapinnast.

Tabel 12. Matsalu-6-14 läbilõike litoloogiline kirjeldus.

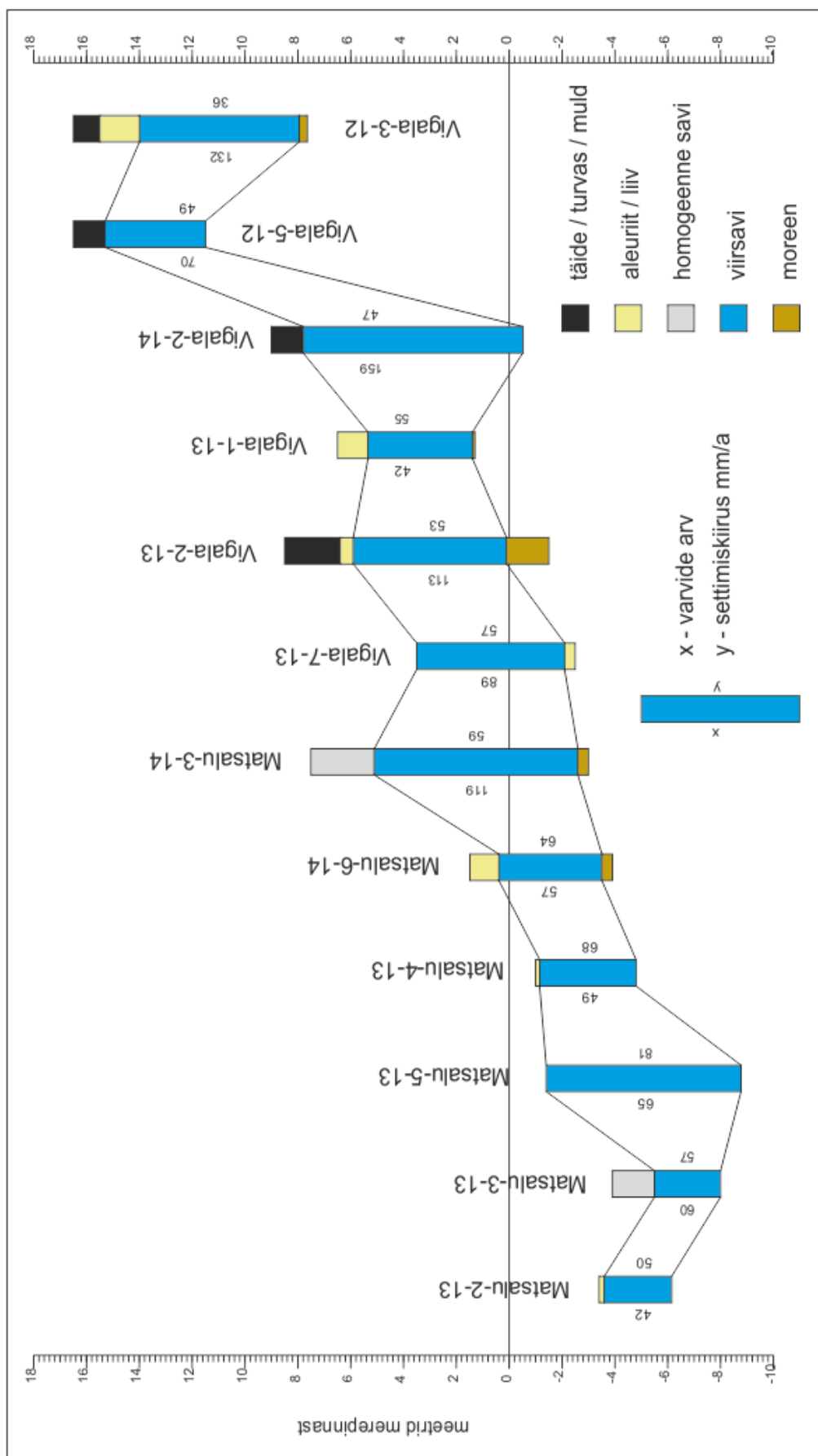
Matsalu-6-14 N 58° 45' 58,9" ja N 23° 53' 18,1" PA suudme kõrgus 1,5 m ü.m.p	Rõudest u 2 km edelas, Kasari (Rõude) luhal (Joonis 12).
0-1,10 m	Rohke taimse detriidiga liivakas-aleuriitne lammisete.
1,10-5,00 m	Viirsavi. Savi ülemisel kontaktil on erosiooniline katkestus. Varvid algavad 1,1 m-st ja neid on kokku 57 (Joonis 24). Alumistes suvekihtides on kruusa. Varvide paksused erinevad läbilõike sügavamas osas kõige enam. Suurimad paksused on 139 ja 146 mm, väikseimad 31 ja 32 mm. Suvekihid on läbilõikes pigem peenemad kui talvekihid. Väga paksud varvid läbi südamiku. Puurimisel jõuti viirsavist läbi.
5,00-5,40 m	Rähkne veeküllane moreen.

5. Arutelu

Varasemad varvokronoloogiliste uuringute kogemused Pärnu ja Vigala basseinist andsid käesoleva töö planeerimisel indu ja lootust, et vähestele läbilõigetele toetuvat Vigala kohalikku kronoloogiat on võimalik tugevdada ja äkki isegi pikendada. Paraku selgus uurimusest väga kiire settimine kunagi eksisteerinud jääjärves, mis peegeldus ühtlaselt paksude varvide esinemises kõigis uuritud läbilõigetel ning basseini keskosas settinud ja distaalsete varvide puudumine. Ja kuigi savi maksimaalne paksus uuritud läbilõigetel ulatus isegi 8,5 m-ni, siis suurim varvide arv küündis vaid 159-ni. Kõige lihtsam on omavahel korreleerida rahulikes tingimustes settinud basseini keskosa varve ning seal leitud varv-varvile korrelatsiooni saab laiendada nii läbilõigete distaalsesse kui ka proksimaalsesse varviseeriasse. Sealjuures on üsna tavaline praktika see, et proksimaalseid varve korrelatsioonides üldse ei arvestata ja tihti neid graafikutes isegi ei näidata. Käesolevas töös uuritud läbilõiked aga sisaldasid valdavalt ainult proksimaalseid varve ja seetõttu oli korrelatsioonide tegemine üsna keerukas.

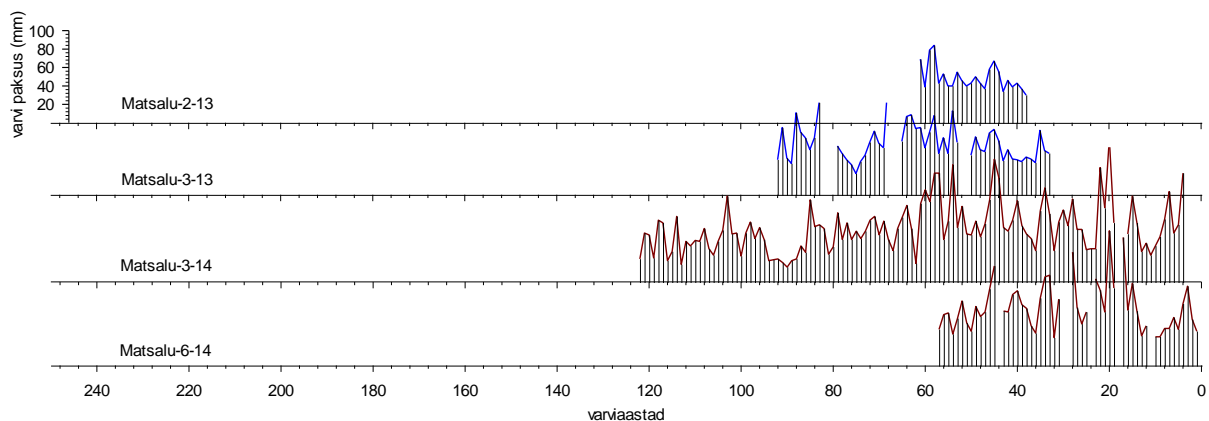
Kiire ja väga ebaühtlane settimine on seotud jääserva lähedusega, kuhu kantakse kõige rohkem materjali ja ka kõige jämedateralisemat. Rahulikku settimist segab kindlasti vee tsirkulatsioon, mis on seotud nii sulavee pideva lisandumise kui ka liustiku ja vee temperatuuride erinevusega. Keskmise settimiskiirus aastakihiliste setete puhul pole küll eriti informatiivne, kuid väikese ettekujutuse see siiski annab. Uuritud läbilõigete keskmine settimiskiirus varieerus 36-81 mm/a. Kuigi võiks eeldada, et pikematel läbilõigetel on keskmine settimiskiirus väiksem, sest seal esineb ka basseini keskosa varve, siis siinsetes tulemustes sellist ühest seost välja ei tule. Kõige pikema läbilõike keskmine settimiskiirus on 47 mm/a, kuid osadel pikkadel läbilõigetel on 36 ja 81 mm/a. Lühematel läbilõigetel kõigub see vahemik vähem jäädes 50-68 mm/a vahele. Võrdluseks on keskmine settimiskiirus seniste Vigala kõige pikemate viirsaviläbilõigete puhul 23 mm/a. Nende puhul on võimalik eristada nii proksimaalseid, normaalseid kui ka distaalseid varve ning nendes gruppides on keskmine settimiskiirus vastavalt 50, 17 ja 7 mm/a.

Basseini keskosas settinud nn normaalsete varvide ja distaalsete varvide puudumise põhjuseks ei saa olla settimise järsk lõppemine, sest sellisel juhul oleks kõik läbilõiked pidanud lõppema ajaliselt sarnasel tasemel. Samas on teada Tõnumaa rabast ja Vana-Vigalast nn pikad läbilõiked, kus distaalsed varvid on esindatud. Seega on tõenäoliseks põhjuseks siin Holotseense Läänemere erinevatel etappidel alanenud veetase. Selle tõttu sattus savi pind lainete erosiooni lõikesse ning savi ülemine osa koos distaalsete ja normaalsete varvidega on ära erodeeritud ning Tõnumaa läbilõigetele toetudes võib erosiooni ulatust hinnata 4-8 m-ni. Kui seda varvide arvuna hinnata, siis uuritud kõige pikemas (Vigala-2-14; 8,5 m) läbilõikes oli 159 aastat ning



Joonis 25. Uuritud läbilõikete settetulbad kõrguskaalal lääne-ida suunas.

nn pikkades Tõnumaa läbilõigetel (12,5 m) esines 530 aastat, kusjuures Tõnumaa läbilõigete alumises 8,5 m oli varvide arv sarnane Vigala-2-14. Seega võime arvata, et Vigala-2-14 läbilõikest on erodeeritud u 4 m savi, mis võis sisaldada u 370 basseini kesk- ja distaalses osas settinud varvi. Kuna lainete kulutus on viirsavi osalise erosiooni ainus tõsiseltvõetav põhjus, siis võiks järk-järgulisel veetaseme alanemisel eeldada, et kõrgemal paiknevad läbilõiked on vähem erodeeritud, kuna erosiooni kestvus oli lühem. Puuraukude ja savikihi hüpsomeetriat vaadates (Joonis 25) mingit seaduspärasust siiski silma ei hakka. Sellest võib järeldada just viirsavi alusreljeefi suurt mõju läbilõike pikkusele. Just alusreljeefi nõgudes on savi paksus tavaliselt suurem. Seda tõestab ka Tõnumaa ja Vana-Vigala nn pikkade läbilõigete paiknemine aluspõhjalise oru kohal (Joonis 11), kus savikiht ühelt poolt sai kujuneda paksem ning teisalt oli ka hilisema lainetuse erosiooni eest paremini kaitstud.



Joonis 26. Matsalu lahe ja lähiümbruse varvogrammide võimalik korrelatsioon. Sarnase värvi graafikud näitavad läbilõikeid, kus korrelatsioon tehti vahetult setteid kõrvutades. Puuraukude asukoht joonisel 12, sesoonsete kihtide suhtevahekorra graafikud joonistel 19, 20, 23 ja 24, litoloogiline kirjeldus tabelites 7, 8, 11 ja 12.

Matsalu lahest ja lähiümbrusest oli käesoleva uurimuse jaoks kasutada 6 viirsaviläbilõiget. Pikem neist ja ühtlasi ka kõige pikema varviseeriaga (119 aastat) oli läbilõige Matsalu-3-14. Selles uuringukohast oli kasutada kaks paralleelset teineteisega kattuvat läbilõiget, mistõttu võib seda pidada Matsalu piirkonna baasgraafikuks. Ülejäänud piirkonna uuringukohtadest oli kasutada vaid üks südamik. Matsalu lahes eeldati suuremat savi paksust lahe suudmes võimalikult Väinamere suunas, kuna seal oli viirsavi pind ümbruskonnast kõige madalamal, mis lubas eeldada ka, et Holotseense Läänemere madalseisude ajal on lainete erosioon seda piirkonda vähem mõjutanud. Samas ei olnud varasematest uuringutest teada viirsavi võimalikku paksust. Paraku selgus 2013. aasta Matsalu lahe uuringupunktides 2, 3 ja 4

suhteliselt tagasihoidlik savi paksus (max 3,65 m) ning vaid kuni 60 (Matsalu-3-13) suhteliselt paksude, liivakas-aleuriitsete suvekihtidega proksimaalsete varvide esinemine. Kõige tüsedam savikiht leidis Matsalu lahe keskosas (Matsalu-5-13), mille paksus on 7,38 m.

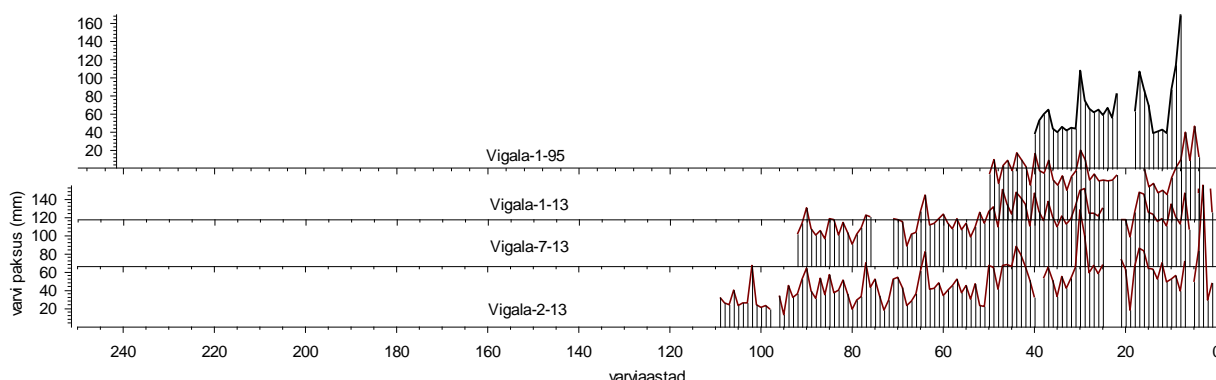
Uurimispunktides Matsalu-2-13 ja Matsalu-3-13 ei jõutud puurimisel läbi viirsavi. Uurimispunktis Matsalu-3-14 aga jõuti – selle lamamiks on liivsavi moreen, mis sisaldab vähesel määral veeriseid ja kruusaterasid. Samuti jõuti Matsalu-6-14 punktis läbi savi, mis lasub rähksel moreenil.

Kõikides piirkonna saviläbilõigetel on varvide iseloom sarnane. Esindatud on vaid väga paksud, suvekihis kihitatud aleuriidiga ja domineeriva suvekihi paksusega proksimaalsed varvid. Vaid pikemates varviseeriates võib ülemises osas näha sujuvat üleminekut samuti paksudele, kuid alumistega võrreldes tunduvalt peliitsemate suvedega ebamäärastele varvidele. Nende puhul on raske otsustada proksimaalsuse üle, kuna sarnased varvid võivad kujuneda ka rohke peeneteralise materjali sissekandel. Vaid Matsalu-6-14 uuringupunkti viirsavis lasusid peliitsetel varvidel omakorda aleuriitsema suvega varvide intervall. Ainult proksimaalsete varvide esinemine kahtlemata raskendab kronoloogilist uurimist ehk siis varvide omavahelist korrelatsiooni läbilõigete vahel. Nimelt on liustikuserva ees settimistingimused pidevalt lisanduva sulavee ja setete tõttu väga ebastabiilsed, mis väljendub nii varvipaksuste suures varieeruvuses kui ka lõimiselises koostises. See raskendab varv-varvile korrelatsioone, mis pikkade läbilõigete korral on kompenseeritav basseini keskosas settinud ja distaalsete varvide korrelatsiooniga.

Eelöeldust tulenevalt ei olnud ka uuritud läbilõigete korrelatsioon kerge. Paralleelsete läbilõigetega Matsalu-3-14 ja Matsalu-6-14 ning Matsalu lahe läbilõiked 3 ja 2 korreleerusid omavahel hästi (Joonis 26) ja see korrelatsioon tehti setteid kõrvutades. Selline lähenemine lubab lisaks varvipaksusele arvestada ka varvi sisemist tekstuuri, lõimist ja värvust ning on seetõttu igati usutav. Samas tekkisid raskused nimetatud läbilõigete paaride omavahelisel korrelatsioonil (Joonis 26), mida tuleks käsitleda ettevaatusega. Ülejäänud piirkonnast pärit läbilõikeid usutavalt korreleerida ei õnnestunud. Edaspidiseks jääb jätkuvalt küsimuseks Matsalu lahe suhteliselt õhuke savikiht ning halvasti säilinud, kohati deformeerunud varvidega läbilõiked.

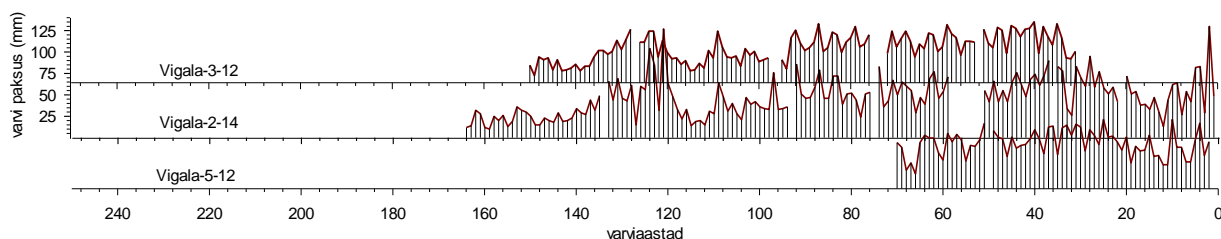
Uuritud ala teises, nn Vigala piirkonnas alustasime korrelatsioonidega piirkonna läänepoolsematest Vigala-1-13, Vigala-7-13 ja Vigala-2-13 läbilõigete varvogrammidest. Need läbilõiked paiknevad üksteisest 2-4 km kaugusel ja eeldati üsna head korrelatsiooni. Ja tõesti ei olnud raskusi nende läbilõigete korreleerimisel (Joonis 27). Kuid nagu eelmises piirkonnaski

määras selle kohaliku kronoloogia pikkuse kõige pikem läbilõige, mis oli vaid 110 aastat. Nagu kirjeldusestki võis näha, on tegemist alumiste proksimaalsete varvidega, mille paksuses iseloomulikke järske või perioodilisi muutusi näha ei ole. Ja sellisel juhul on selge, et ainus võimalus korrelatsiooniks on setete otsene võrdlus. Nimetatud läbilõigete lähedusest varem uuritud läbilõige Vigala-1-95 on korrelatsiooni paigutatud vaid graafikuid võrreldes ja seda korrelatsiooni tuleb võtta kui tentatiivset (Joonis 27).



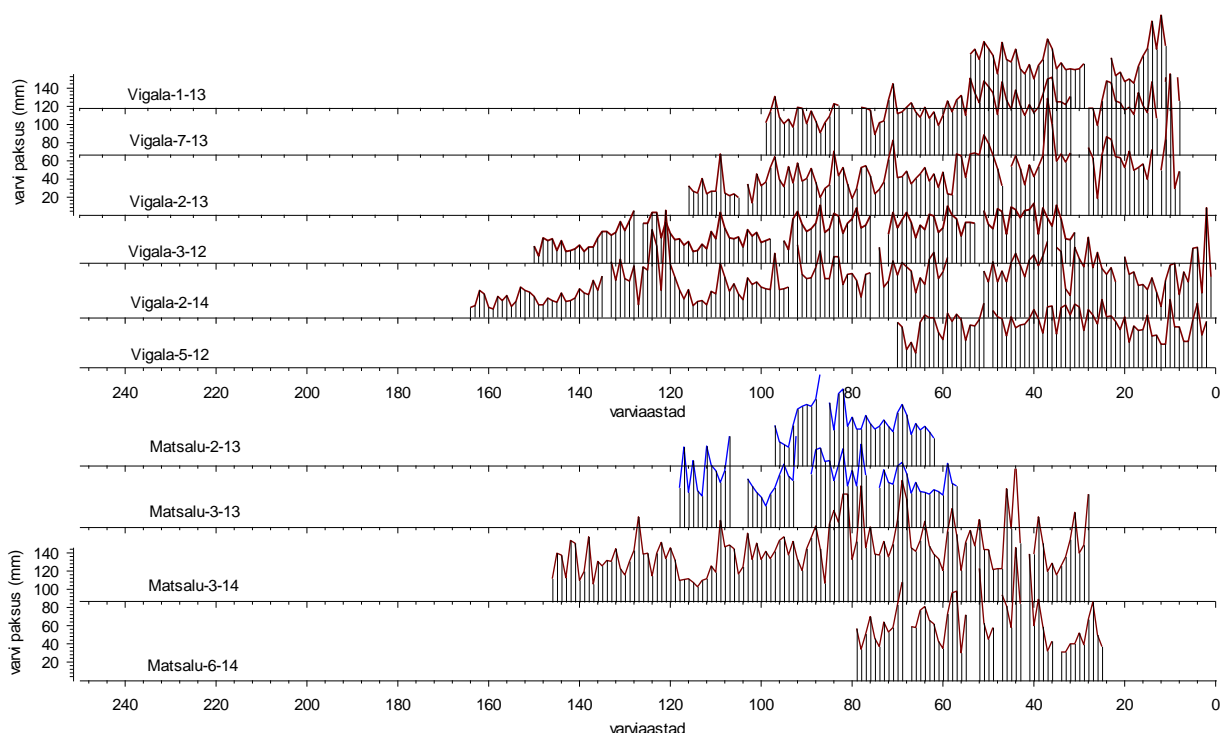
Joonis 27. Käesoleva uuringu käigus mõõdistatud Vigala piirkonna läänepoolsemate läbilõigete varvogrammide korrelatsioon. Sarnase värviga graafikud näitavad läbilõikeid, kus korrelatsioon tehti vahetult setteid kõrvutades. Vigala-1-95 on korreleeritud varvogramme võrreldes. Puuraukude asukoht joonisel 12, sesoonsete kihtide suhtevahekorra graafikud joonistel 15, 16 ja 17, litoloogiline kirjeldus tabelites 3, 4 ja 5.

Eelmistest läbilõigetest kirde suunas piki Vigala jõge ülesvoolu paiknenud läbilõiked Vigala-2-14, Vigala-3-12 ja Vigala-5-12 korreleeriti samuti vahetult laboris ja seal õnnestus varv-varvile korrelatsioon (Joonis 28). Vigala ümbruse kohta suhteliselt pikad läbilõiked moodustavad seega 159 aasta pikkuse kohaliku kronoloogia, kus u 110. aastani on tegu paksude, kuid suures ulatuses muutlike proksimaalsete varvidega. Sealt edasi tuleb lühike (10 aastat) õhukeste varvide seeria, mis eelneb järsule varvipaksuse suurenemisele. Järgnev u 20 aastane paksude savikate varvide seeria on iseloomulik ka varasemalt paleomagnetismi meetodil uuritud pikkadele Tõnumaa raba läbilõigetele. Kui läbilõiked Vigala-2-14 ja Vigala-5-12 paiknevad taanduva liustikuserva suhtes üsna sarnasel kaugusel, mida näitab ka varviseeria alumine varv ehk siis viirsavide settimise algus, siis Vigala-3-12 paikneb sellest joonest mõned kilomeetrid loode suunas ja seal oleks eeldanud settimise algust eelmistest läbilõigetest varem. Korrelatsioonile toetudes aga näeme seal hoopis 31 aastat hilisemat settimise algust, mida olemasolevatele andmetele toetudes on raske seletada.



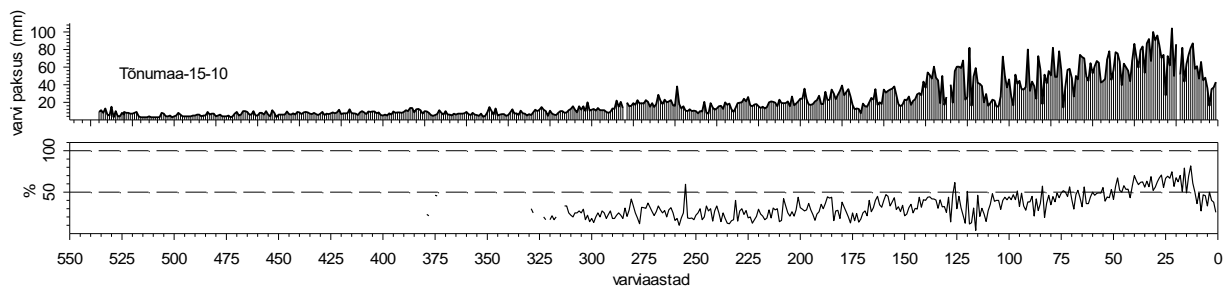
Joonis 28. Vigala piirkonna kirdepoolsemate läbilõigete varvogrammide võimalik korrelatsioon. Sarnase värviga graafikud näitavad läbilõikeid, kus korrelatsioon tehti vahetult setteid kõrvutades. Puuraukude asukoht joonisel 12, sesoonsete kihtide suhtevahekorra graafikud joonistel 13, 14 ja 18, litoloogiline kirjeldus tabelites 1, 2 ja 6.

Eeltoodud korrelatsioone arvestades võrreldi kõiki antud töös mõõdistatud läbilõigete varvogramme (Joonis 29). Nn Vigala ehk Vana-Vigala ümbruse läbilõigete varvogrammid korreleerusid üsna hästi. Rohkem oli ebamäärasust esimese 40-50 proksimaalse varvi osas. Edasi vahemik kuni u 140. aastani oli korrelatsioon usutav. Samas aga ei suudetud Matsalu lahe ja ümbruse graafikuid usutavalt ühtsesse nn Vigala-Matsalu kohaliku kronoloogiasse liita ning joonisel 22 esitatud võimalikku korrelatsiooni selles osas tuleb võtta ettevaatusega.



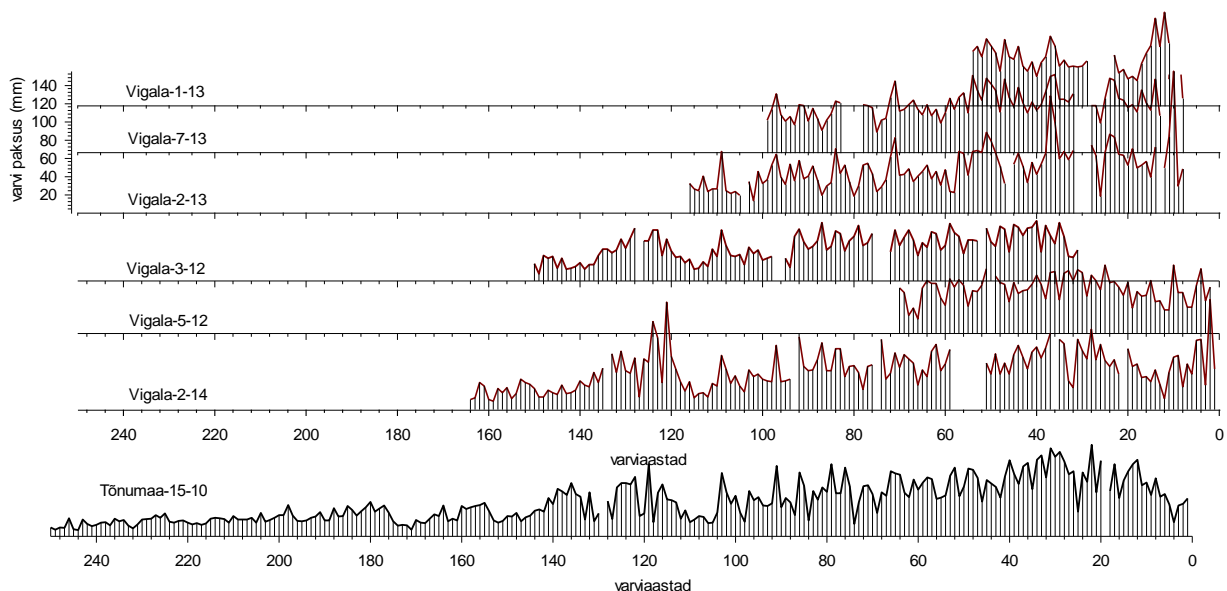
Joonis 29. Käesolevas töös uuritud Vigala-Matsalu basseini viirsaviläbilõigete varvogrammide võimalik korrelatsioon. Kui Vigala läbilõiked korreleeruvad usutavalt ja probleeme on graafikute proksimaalses osas, siis Matsalu varvogrammid on kronoloogiasse lisatud tentatiivselt ja esitatud korrelatsiooni tuleb suhtuda ettevaatusega.

Samuti tuleb nentida, et käesoleva töö planeerimisel oli koostajal kavas kasutada Vigala kronoloogia täiendamiseks ka varasematest uuringutest pärit varvogramme, mida oli kokku 20. Töö käigus selgus, et neid ei suudetud usaldusväärselt ühtseks kronoloogiks kombineerida ning seetõttu neid diagramme ega tööversioone korrelatsioonidest eksituste vältimiseks käesolevas töös ka ei esitata. Küll aga tehti katse korreleerida uuritud läbilõiked seni Vigala ümbrusest teadaolevate kõige täiuslikemate – ajaliselt kõige pikemate läbilõigetega Tõnumaa rabast. Tõnumaa raba läbilõiked on võetud raba keskelt ja lääneosast turbaväljalt ja neid on varem kasutatud paleomagneetilisteks uuringuteks (Tuvikene, 2011; Hang *et al.*, 2010). Viirsavi paksus Tõnumaa raba läbilõigetes oli 12 m ja need sisaldasid kokku 533 aastavarvi. 3 vaatluskohas puuriti igas kaks paralleelset läbilõiget, mis ka omavahel korreleeriti. Käesoleva töö jaoks valiti võrdluseks just proksimaalses osas pideva varviseeriaga Tõnumaa-15-10 läbilõige. See sisaldas kogupikkuses 536 aastavarvi ning varvogrammilt on selgesti eristatavad väga hüpliku paksusega alumised suvekihi ülekaaluga u 110 proksimaalset varvi. Sealt edasi on näha perioodilist varvipaksuse muutust juba talvekihi ülekaaluga savikates basseini keskosa varvides. Umbes 320. aastast edasi enam sesoonsete kihtide eristamine varvides võimalik ei olnud eelkõige halvasti eristatava suvekihi tõttu, mis on iseloomulik juba basseini distaalses osas moodustunud varvidele. Valdavas osas käesolevas töös kirjeldatud läbilõigetes oli esindatud vaid Tõnumaa läbilõike proksimaalsetele varvidele sarnased varviseeriad. Basseini keskosa varve esines vaid pikemates läbilõigetes Vigala-2-14 ja Vigala-3-12 (Joonis 28). Uuritud läbilõigete varvipaksuste korrelatsioon Tõnumaaga kinnitas eelöeldut, sest parim korrelatsioon leiti just läbilõigete alumise osaga (Joonis 31). Üsna hea varv-varvile korrelatsioon leiti vahemikus u 80-130 aastat. Sellest intervallist allapoole oli küsitavusi rohkem, mis aga nagu eespool kirjeldati, on üsna tavaline proksimaalsete varvide korral, nii et neid kronoloogiate koostamisel tihti ei arvestata ja jäetakse isegi varvogrammidest välja. Samuti võib öelda, et sesoonsete kihtide suhe varvis on uuritud läbilõigetes (Joonis 29) samuti sarnane Tõnumaa läbilõikele, kus suve osakaal domineerib kuni u 110. varvini ja see kahtlemata toetab esitatud korrelatsiooni.



Joonis 30. Tõnumaa raba lõunaosa Tõnumaa-15-10 viirsaviläbilõike varvogramm ja sesoonsete kihtide suhtediagramm (Tuvikene, 2011).

Kokkuvõtteks võib käesolevas töös esitatud Vigala kohalikku kronoloogiat pidada tugevaks, kuid paljude küsitavuste tõttu väga lühikese kronoloogia proksimaalses osas ei julge autor siiski neid korrelatsioone juba eksisteeriva Vigala kronoloogia (Hang *et al.*, 2010) täiendamiseks soovitada. Esiteks oli käesolevas töös kasutada vaid paar läbilõiget, kus oli puuritud kattuvad südamikud, mis kahtlemata ei lubanud lahendada kõiki küsitavusi korrelatsioonis. Teiseks olid uuritud südamikud väga lühikesed ja sellistena ei anna nad palju juurde juba olemasolevale kronoloogiale, st et kui ka käesolev korrelatsioon on õige, siis olemasoleva kronoloogia pikkus ei muutu.



Joonis 31. Käesolevas töös uuritud viirsaviläbilõigete varvogrammide korrelatsioon Tõnumaa-15-10 varvogrammiga.

Lisaks kronoloogia tugevdamisele kasutatakse läbilõigete alumist varvi tihti ka liustikuserva taandumise kirjeldamiseks. See tähendab, et liustikutaande suunas peaks läbilõigete esimene

varv olema järjest kaugemal nn 0-aastast. Kogemus uuritud läbilõigete põhjal aga näitab, et mitte alati ei ole võimalik määrata seda esimest varvi, st et liustikuserva ees olevas ebastabiilses settimiskeskkonnas võivad kujuneda väga paksud jämedateralisest materjalist varvid, mis puurimisel võivad jätta mulje, et savikiht on läbitud, kuid tegelikult esineb selliseid varve mitu. Ka joonisel 24 on näha, et läbilõikes Vigala-2-14 algas settimine mitu aastat varem kui sellest u 4 km kagusse ehk basseini distaalsema osa suunas jäävas Tõnumaa läbilõikes. Jäätaande suunda arvestades oleks settimine Tõnumaal pidanud aga algama varem. Sellise ebamäärasuse tõttu ei hakatud käesolevas töös ka jäätaande kohta järeldusi tegema, seda enam, et kasutatud vähesed läbilõiked paiknesid uuringualal väga ebaühtlaselt, mis ei ole kindlasti piisav ei liustikutaande kiiruse ega ka liustikuserva konfiguratsiooni kirjeldamiseks.

Mõneti oli üllatuseks uuritud läbilõigete probleemne korrelatsioon varem uuritud läbilõigete varvogrammidega. Samuti oli üllatav ka nende nn vanade varvogrammide omavaheline puudulik või probleemne korrelatsioon, kuigi võrreldi üksteisega lähedalpaiknevaid läbilõikeid ja uuringutel oli kasutatud enam-vähem sarnast metodoloogiat. Erinevusi varasemate uuringutega oli kaks. Esiteks ei puuritud varasemates uuringutes täielikult kattuvaid läbilõikeid, vaid piirduti puursüdamike kattuvusega u 30 cm. See kogemus oli võetud Skandinaaviast, kus suhteliselt õhukeste varvide korral sellisest kattuvusest piisab reeperkihtide leidmiseks. Kuna Vigalas oli tegemist väga tüsedate varvidega, siis võis juba vigu tekkida isegi paralleelsete südamike võrdlusel ja selliseid vigu varvogrammidel enam leida ei ole võimalik. Nüüdne kogemus ja kogemus Pärnu viirsavidega näitas, et usutavaks korrelatsiooniks on vaja korraga võrrelda ikka pikemaid varviseeriaid, et seal leida iseloomulikud korreleeruvad varvid. Teiseks erinevuseks metoodikas oli samuti Skandinaaviast võetud kogemus, kus usaldati varvogrammide korrelatsiooni, mitte otsest setete kõrvutamist. Nüüdne kogemus ja ka Pärnu savide uuringu kogemus aga toob selgelt esile raskused pelgalt varvipaksuste diagrammide kõrvutamisel. Käesolev uuring näitas väga selgelt, et ainult ja ainult otsesel setteläbilõigete kõrvutamisel on usutav korrelatsioon võimalik. Siit tuleb kahjuks teha järeldus, et Vigalast olemasolev varvomeetriline andmestik olemasoleva Vigala kohaliku kronoloogia täiendamiseks on vaevalt tulevikus kasutatav. Edaspidiste vastavate uuringute vajadusel tuleks alustada Tõnumaa ja Vana-Vigala nn pikkade läbilõigete lähedusest ja maksimaalselt kilomeetrise sammuga liikudes tuleb siiski puurida paralleelsed südamikud või siis kasutada hoopis puurtehnikat, mis korraga võtaks proovetesse kogu saviläbilõike.

Kokkuvõte ja peamised tulemused

Käesoleva töö eesmärgiks oli uue varvomeetrilise andmestiku lisamise ning varasema andmestiku analüüsi abil täiendada seni eksisteerivat, aga vähestele läbilõigetele toetuvat Vigala kohalikku varvokronoloogiat. Töös kirjeldati ja mõõdistati 12 viirsaviläbilõiget Vigala-Matsalu viirsavibasseinist ning esitati nende varvomeetriline andmestik, samuti võimalik omavaheline korrelatsioon. Varasem varvomeetriline andmestik saadi TÜ geoloogia osakonnast varvogrammide näol. Kahjuks ei õnnestunud vaid varvogrammidele toetuvat usaldusväärset korrelatsiooni saavutada. Seetõttu neid andmeid ja korrelatsioonide tööversioone ka töös ei esitatud. Töös mõõdistatud Vigala ümbruse läbilõiked korreleeriti senise Vigala varvokronoloogiaga, kuid Matsalu ümbruse läbilõikeid kronoloogiasse usutavalt sobitada ei õnnestunud. Vigala kronoloogiasse lisatud läbilõiked olid kõik suhteliselt lühikese ajalise pikkusega sisaldades vaid proksimaalseid varve ja sellistena nad eksisteerivat Vigala varvokronoloogiat oluliselt ei täienda. Käesoleva töö oluliseks tulemuseks on järeldused uurimismetoodika osas ning ka see, et varvokronoloogilisi uuringuid Vigalas on mõttekas jätkata vaid uute väga pikkade viirsaviläbilõigete selgumise korral. Matsalu lahe materjal näitas samuti piirkonna vähest varvokronoloogilist potentsiaali ja siin tasuks pigem selgitada Väinamere põhjasetete potentsiaali varvokronoloogias.

Käesoleva töö olulisemate tulemustena võiks esile tuua järgnevat:

- Uuritud viirsaviläbilõigetele (12) toetudes on esitatud 6 läbilõikele toetuv 159 a pikkune kohalik kronoloogia Vigala ümbruse kohta ning 4 läbilõikele toetuv 120 a pikkune kohalik kronoloogia Matsalu lahe ja lähiümbruse kohta.
- Vigala ümbruse läbilõiked korreleerusid hästi senise Vigala kohaliku varvokronoloogiaga; kuna uued läbilõiked olid ajaliselt lühikese kattuvusega ja esindatud olid vaid proksimaalsed varvid, siis lisandunud materjal senist Vigala kohalikku kronoloogiat oluliselt ei täienda.
- Samuti vaid proksimaalsete varviseeriatega esindatud ja ajaliselt lühikesi Matsalu läbilõikeid Vigala kohalikku kronoloogiasse usaldusväärselt siduda ei õnnestunud.
- Uuritud läbilõigetest kõige pikem (Vigala-2-14) oli 8,5 m, see sisaldas 159 aastavarvi ja keskmine settimiskiirus oli 47 mm/a, kõige lühem läbilõige (Matsalu-2-13) oli vaid 2,4 m, sisaldas 42 varvi keskmise settimiskiirusega 50 mm/a. Keskmine settimiskiirus kõikides uuritud läbilõigetes oli erinev jäädes vahemikku 36-81 mm/a. Läbilõigete pikkuse, ajalise kestuse, keskmise settimiskiiruse ning absoluutkõrguse vahel seosed puuduvad.

- Vaid proksimaalsete varviseeriade esinemine on seotud Läänemere veetaseme muutustega ning savi ülemise, distaalseid ja normaalseid varve sisaldava osa sattumisega lainete erosiooni lõikesse. Võrdlus teadaolevalt pikimate (12 m) läbilõigetega Tõnumaa rabast lubab erosiooni ulatust hinnata 4-8 meetrini.
- Metoodika osas selgus: A – uuritud paksude varvidega läbilõigete puhul on vajalik pideva kattuvusega paralleelsete läbilõigete puurimine. Kasutada olnud u 30 cm kattuvus ei ole alati piisav usaldusväärse korrelatsiooni leidmiseks; B – usaldusväärne korrelatsioon on võimalik vaid setteläbilõigete otsesel võrdlusel laboris, kus lisaks varvipaksusele saab arvestada ka varvi sisest tekstuuri, lõimist ja värvust. Vaid paksuste graafikutele toetuv korrelatsioon on ebausaldusväärne, mida demonstreeris ka varasem varvomeetriline andmestik, mis autoril oli kasutada varvogrammide näol ja mida autori hinnangul usaldusväärselt korreleerida ei olnud võimalik.
- Varvokronoloogilisi uuringuid Vigalas on mõttekas jätkata vaid uute väga pikkade viirsaviläbilõigete selgumise korral. Matsalu lahe materjal näitas samuti piirkonna vähest varvokronoloogilist potentsiaali ja siin tasuks pigem silmas pidada Väinamere põhjasetteid.

Clay-varve chronology for the Vigala-Matsalu area

Anu Sihv

Summary

Formation of sedimentary cover and topography of western Estonia has been heavily influenced by the last Scandinavian ice sheet and the development of the Baltic Sea. During the last Termination, ice lakes of different size and configuration were formed in front of the edge of the retreating glacier. Most typical sediments formed in the proglacial lakes are annually laminated clays called varved clays, also widely distributed all over Estonia. Varved clay consist of annual varves which are formed by two different layers: lighter sandy summer layer and darker silty winter layer. A diagram, called varve graph, is constructed based on the thickness of varves. When to compare the thicknesses of varves, a time series longer than an individual varve series can be compiled and different varve series correlated into varve chronologies. Varve chronology is important method to study varved clays because with that it may be possible to determine the age of deposition, duration of existence of ice Lake and the rate of ice recession.

The aim of this study is to complement existing Vigala local varve chronology by measuring new varve sections and by analysing earlier varvometric data available at the department of geology, UT. 12 sections of varved clay were cored from Vigala and Matsalu Bay during 2012-2014. Descriptions of these sections, measurements and correlations were made in 2016 and 2017. Length of studied varved clay sequences was between 2.5 and 8.3 meters, the shortest consisting of 42 varves and the longest 159 varves. Mainly thick proximal varves are represented in the varve series. It is likely because the upper section of varved clays with distal and normal varves has been eroded during the Holocene stages of the Baltic Sea.

Based on 6 varve series from Vigala and 4 from Matsalu, 159-year long and 120-year long chronologies were made respectively. Previous and new Vigala chronology were well-correlated, but existing local chronology was not substantially complemented because only proximal varves were presented and overlap between new cores were short. Cores from Matsalu were also of short time coverage and it was impossible to connect those to existing Vigala chronology. Results of the study present some important methodological recommendations and conclude that varve chronological studies in Vigala area are reasonable to continue only if new long varve series will be discovered. The material of Matsalu Bay showed low potential for

varve chronological studies and bottom sediments of Väinameri are recommended to be tested for this purpose.

Tänuavaldused

Sooviksin tänada juhendajat Tiit Hangu, kes aitas teemavalikuga ning igakülselt nõuannetega abiks oli, ning TÕ geoloogia osakonda labori kasutamise võimaluse eest. Kaartide koostamise eest lähevad tänusõnad Maria Anttilale.

Kasutatud kirjandus

- Andrén, T., Björck, J. & Johnsen, S. 1999. Correlation of Swedish glacial varves with the Greenland (GRIP) oxygen isotope record. *Journal of Quaternary Science*, **14** (4), 361-371.
- Bard, E. & Broecker, W. S. 1992. The Last Deglaciation: Absolute and Radiocarbon Chronologies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Saksamaa, 345 pp.
- Björck, S., Cato, I., Brunnberg, L. & Strömberg, B. 1992. The clay-varve based Swedish time scale and its relation to the Late Weichselian radiocarbon chronology. In: Bard, E. & Broecker, W. S. (toim). The Last Deglaciation: Absolute and radiocarbon chronologies, Springer-Verlag, Berlin, 25-33.
- Brunnberg, L. 1995. Clay-varve chronology and deglaciation during the Younger Dryas and Preboreal in the easternmost part of the Middle Swedish Ice Marginal Zone. *Quaternaria*, **A:2**, 1-94.
- Cato, I. 1985. The definitive connection of the Swedish Geochronological Time Scale with the present and the new date of the zero-year in Döviken, northern Sweden. *Boreas*, **14**, 117-122.
- Cato, I. 1987. On the definitive connection of the Swedish Time Scale with the present. *Sveriges Geologiska Undersökning*, **Ca 68**, 55 pp.
- Cato, I. 1998. Ragnar Lidén's postglacial varve chronology from the Ångermanälven valley, northern Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning*, **Ca 88**, 82 pp.
- Catto, N. 1987. Lacustrine sedimentation in a proglacial environment. Caribou Valley, Yukon, Canada. *Boreas*, **16**, 197-206.
- De Geer, G., 1912. A geochronology of the last 12000 years. *Congres de Geologie International. Comptes rendues*, 241-253.
- De Geer, G. 1930. The Finiglacial subepoch in Sweden, Finland and the New World. *Geografiska Annaler*, **12**, 101-111.
- De Geer, G. 1940. Geochronologia Suecica, Principles. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, **18(6)**, 367 pp.
- Hang, T. 1997. Clay-varve chronology in the Eastern Baltic area. *GFF*, **119**, 295-300.
- Hang, T. 1998. On the Timing of the Late Weichselian Ice Retreat from Southern Estonia and NW Russia. Licentiat thesis, Department of Quaternary Research of Stockholm University, (publitseerimata).
- Hang, T. 2001. Proglacial sedimentary environment, varve chronology and Late Weichselian development of the Lake Peipsi, eastern Estonia. *Quaternaria*, **A:11**, 44 pp.
- Hang, T. 2003. A local clay-varve chronology and proglacial sedimentary environment in glacial Lake Peipsi, eastern Estonia. *Boreas*, **32**, 416-426.
- Hang, T., Kohv, M., Pai, K. & Tuvikene, T., 2010. Proglacial varves indicate the stagnation of ice terminus during the formation of Pandivere-Neva ice marginal formations in eastern Baltic. In: Ice, Water, Humans – Quaternary landscape evolution in the Peribaltic region. Conference proceedings of 12th annual meeting of the INQUA Peribaltic working group, 13.-17. September 2010, Greifswald, 28-29.
- Hang, T. & Kohv, M. 2013. Glacial varves at Pärnu, south-western Estonia: a local varve chronology and proglacial sedimentary environment, *GFF*, **135**, 273-281.

- Kajak, K. (1999) Eesti Kvaternaarisetted: kaart ja seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 30 lk.
- Karukäpp, R., Raukas, A. & Hyvärinen, H. 1992. Varve chronological studies. In: (Raukas, A. & Hyvärinen, H., (Eds) *Geology of the Gulf of Finland*, Estonian Academy Publishers, Tallinn (vene k.), 123-130.
- Kristiansson, J. 1986. The ice recession in the southeastern part of Sweden. A varve chronological time scale for the latest part of the Late Weichselian. University of Stockholm, Department of Quaternary Research, *Report*, **7**, 132 pp.
- Lidén, R. 1913. Geokronologiska studier öfver det finiglaciala skedet i Ångermanland. *Sveriges Geologiska Undersökning*, **Ca 9**, 39 pp.
- Lidén, R. 1938. Den senkvartära strandförskjutningens förlopp och kronologi i Ångermanland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **60**, 397-404.
- Lowe, J. J. & Walker, M. J. C. 1997. *Reconstructing Quaternary Environments*. Pearson Education Limited, Essex, 446 pp.
- Kiipli, T., Malkov, B., Pirrus, E., Põlma, L. 1993. Rmt: (Lutt, J. & Raukas, A. toim) Eesti šelfi geoloogia, Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn, 66-68.
- Markov, K. & Krasnov, L. 1930. A geochronological study of varve sediments in the northwestern region of the USSR. *Bulletin de la Commission Pour L'étude du Quaternaire*, **2**, 27-46.
- Mörner, N.-A. 2014. Varve Chronology, In: (Mörner, N.-A., ed) *Geochronology – Methods and Case Studies*. InTech, 73-83.
- Pirrus, E., 1965. Pirrus, E., 1965. Eesti viirsavide sesoonisisesest kihilisusest – Eesti Kvaternaarisetete litoloogia ja stratigraafia, 73-84. (vene k.)
- Pirrus, E. 1968. Eesti viirsavid. Valgus, Tallinn (vene k.), 144 lk.
- Pirrus, E. 2001. Eesti geoloogia. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 72 lk.
- Raukas, A. 1988. Eestimaa viimastel aastamiljonitel, Valgus, Tallinn, 115 lk.
- Raukas, A. 1995. Jääjärvetekkelised setted. Rmt: (Raukas, A., toim) Eesti. Loodus, Valgus, Tallinn, 111 lk.
- Ringberg, B. 1984. Cyclic lamination in proximal varves reflecting the length of summer during Late Weichsel in southernmost Sweden, In: (N.-A. Mörner & W. Karlen, eds) *Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis*, Reidel, Dordrecht, 57-62.
- Ringberg, B. & Rudmark, L. 1985. Varve chronology based upon glacial sediments in the area between Karlskrona and Kalmar, southeastern Sweden. *Boreas*, **14**, 107-110.
- Ringberg, B. 1991. Late Weichselian clay varve chronology and glaciolacustrine environment during deglaciation in southeastern Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning*, **Ca 79**, 42 pp.
- Rähni, E. 1963. Kirde-Eesti viirsavide geokronoloogia. *Eesti NSV Geoloogia Instituudi Uurimused*, **12**, 81-94 (vene k.).
- Rähni, E. 1965. Jääjärveliste setete (viirsavide) geoloogia Lääne-Eestis. *Geoloogiliste uurimistöõde aruanne*. Eesti Geoloogia Fond, Tallinn, 80 lk.
- Saarnisto, M. & Saarinen, T. 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian ice

- sheet from east of Lake Onega basin to the Salpausselkä end moraines. *Global and Planetary Change*, **31**, 387-405.
- Saarse, L. & Pirrus, E. 1988. Lithology and formation of the Estonian varved clays. In: *Estonia. Geographical researches*. Estonian Geographical Society, Tallinn, 73-83.
- Sauramo, M. 1918. Geochronologische Studien über die spätglaziale Zeit in Südfinnland. *Fennia*, **41**, 44 pp.
- Sauramo, M. 1925a. Geochronologische Studien in Russland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **47**, 521-522.
- Sauramo, M. 1925b. Über die Bändertone in den Ostbaltischen Ländern vom Geochronologischen Standpunkt. *Fennia*, **45**, 3-9.
- Sauramo, M. 1929. The Quaternary Geology of Finland. *Bulletin de la Commission Géologique de Finlande*, **86**, 110 pp.
- Shaw, J. & Archer, J. 1978. Winter turbidity current deposits in late Pleistocene lacustrine varves, Okanagan Valley, British Columbia, Canada. *Boreas*, **7**, 123-130.
- Strömberg, B. 1985. New varve measurements in Västergötland, Sweden, *Boreas*, **14**, 111-116.
- Strömberg, B. 1989. Late Weichselian deglaciation and clay varve chronology in east central Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning*, **Ca 73**, 70 pp.
- Strömberg, B. 1990. A connection between the clay varve chronologies in Sweden and Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, **A, III**, 6-33.
- Strömberg, B. 1994. Younger Dryas deglaciation at Mt. Billingen, and clay-varve dating of the Younger Dryas/Preboreal transition. *Boreas*, **23**, 177-193.
- Tavast, E. & Raukas, A., 1982. The bedrock relief of Estonia. Valgus, Tallinn, 194 pp (vene k.).
- Tuvikene, T. 2011. Magnetostratigraphy of proglacial varved clays in Pärnu area, western Estonia. Tartu, 54 pp.
- Vassiljev, J. & Saarse, L. 2013. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Vol. 85, 9-18.
- Wohlfarth, B. & Possnert, G. 2000. AMS 14C measurements from the Swedish varved clays. *Radiocarbon* 42, 323-333.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Anu Sihv,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Vigala-Matsalu viirsavibasseini varvokronoloogiast,

mille juhendaja on Tiit Hang,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **29.05.2017**